无线电

CONTENTS

2012年合订本（上）

目 录

特别策划

太阳能供电无线气象站、信件检测器、AVR以太网终端的设计制作☆ ◇陈士凯 001

自制低成本激光3D扫描测距仪☆ ◇陈士凯 014

多功能移动电源制作全方案 ◇唐荣 028

矿石收音机论坛DIY大赛一等奖作品

自制低成本的数控雕刻机 ◇于世舟（BD2QBW） 036

LCR数字电桥自制方案☆ ◇许剑伟 040

矿石收音机论坛DIY大赛参赛作品

TI的CC系列射频芯片通信精简开发工具DIY☆ ◇杨伟 045

用两只FU-33电子管打造电子管特斯拉线圈 ◇张琦 047

自己动手做全息照片

打造不用戴眼镜看的3D照片 ◇薛加民 050

我的全息照片制作心得 ◇陈武 054

米奇·奥特曼和他的作品 055

创客（Maker），将你的项目投入生产 ◇米奇·奥特曼 056

大脑机器 ◇米奇·奥特曼 059

能关闭电视机的帽子 ◇米奇·奥特曼 062

Arduino全方位接触 ◇米奇·奥特曼 065

Arduino与业余电台 ◇翁恺（BA5AG） 066

轻松开始Arduino与flash网络通信实验☆ ◇毛小明 068

用任天堂Wii手柄遥控智能小车吧！☆ ◇宜昌城老张 070

Arduino的ARM朋友 ◇程晨 073

Arduino的模拟仿真利器——VirtualBreadboard ◇朱广俊 075

精彩创意

用雕刻机制作机器乌龟 ◇臧海波 078

“暴走的臭虫”微能版 ◇梁玮 084

在手掌上跳舞的机器人——太阳能蟋蟀 ◇臧海波 088

4足爬行机器人 ◇梁玮 092

基于Arduino的远程洗手间使用状态指示装置☆ ◇吴雷 098

机器手指DIY ◇臧海波 100

步履机器马 ◇pvcbot 104

自制蓝牙GPS ◇陈士凯 110

巡边小车——沿墙走的老鼠 ◇pvcbot 112

微型点焊机的制作 ◇苏永春 王凯 118

“双细胞硬盘动物” ◇臧海波 120

SolidWorks帮你完成机器人设计（1）

零件的三维建模 ◇李伟 125

花园管家——基于Arduino的自动浇花系统☆ ◇范亚运 128

基于Arduino的自制智能温室控制器☆ ◇臧海波 131

SolidWorks帮你完成机器人设计（2）

模拟并分析你的机器人零件 ◇李伟 134

SolidWorks帮你完成机器人设计（3）

零件的虚拟装配 ◇李伟 137

Bigdog离我们到底有多远? ◇雷世昌 139

玩转伺服跟踪1

单路线控机器人——机器蝎子 ◇pvcbot 141

超简单的单自由度光电跟踪头 ◇臧海波 146

2012年合订本（上）目录

CONTENTS

实用电路

基于GPS接收模块的网络时间同步器☆ ◇刘亮 150

“机械+电路”打造智能应急灯☆ ◇王平 154

12W PK 21W——大功率LED照明灯让节能更进一步 ◇李光 158

家庭恒温保湿芽菜机的设计与制作☆ ◇袁先念 边晓明 162

2.4GHz数字无线话筒☆ ◇戚彦男 167

矿石收音机论坛第三届DIY大赛圆满结束 ◇草音 169

核辐射探测仪DIY详解☆ ◇陈建皓 170

开源的五色LED音乐频谱☆ ◇伍浩荣 177

会“看家”的电话——给普通电话加装防盗报警功能☆ ◇姚宗栋 王明英 181

4个元件做成的数字温度计☆ ◇王千涛 187

一款简单的室内外双显温度计☆ ◇俞虹 188

不用语音芯片制作SPEAKER32自定义语音盒子☆ ◇杜洋 190

ELEJ-IDBC1智能数字电池充电器的设计☆ ◇吴礼军 194

新型电路驱动的LD8140VFD电子时钟☆ ◇张锋 199

ELEJ-CDC1 创意数字时钟的设计☆ ◇吴礼军 206

一个全功能充电器的设计与制作☆ ◇吴创明 210

DIY按键式电子骰子☆ ◇王千涛 213

自制简易高斯计 ◇王明英 姚宗栋 214

打造音乐频谱时钟☆ ◇阮永松 218

玩转单片机

用M051入门ARM（1）

单片机爱好者入门ARM的又一种选择——M051 ◇卫小鲁 221

AVR单片机使用SPI通信扩展I/O口☆ ◇周兴华 226

玩转16×16LED点阵屏☆ ◇席卫平 228

51单片机驱动彩屏的设计☆ ◇周兴华 233

基于LD3320语音模块与AVR单片机的“听话”小车☆ ◇蒋瑞挺 238

智能触摸延时开关☆ ◇李帆 242

单片机开发实例及程序研究

51单片机驱动触摸彩屏的设计☆ ◇周兴华 245

实战I^2C☆ ◇席卫平 249

基于AT89C2051实现恒流源式A/D转换☆ ◇程静涛 255

单片机开发实例及程序研究

51单片机与CPLD之间使用并行总线进行通信☆ ◇周兴华 259

用M051入门ARM

CoIDE对M051编程 ◇卫小鲁 262

用M051入门ARM

M051的一个应用实例——简易数码相框☆ ◇卫小鲁 265

实战1-Wire☆ ◇席卫平 268

单片机开发实例及程序研究

AVR单片机与CPLD之间使用SPI总线进行通信☆ ◇周兴华 272

使用USB手柄控制的蓝牙无线小车☆ ◇蒋瑞挺 276

单片机开发实例及程序研究

GPS卫星定位仪DIY☆ ◇周兴华 279

音频工坊

乌鸦变凤凰——老功放“发烧”记 ◇姚宗栋 282

摩改Denon UPO-101 纯后级 ◇梓门 288

蘑菇头7F8W+坡莫合金牛输出胆前级的制作 ◇夏冰 292

超级号角系统的魅力 ◇曾阳明 294

完美的TPA6120超级耳机放大器☆ ◇李俊杰 297

精品套件制作——畅美（Charme）书架箱 ◇詹文 302

纯后级A类混合功放的制作 ◇梓门 306

2012年合订本（上）目录

CONTENTS

SUMO NINE功率放大器的仿制 ◇HE121 312

高性价比之选——派扬音响P1书架式音箱 ◇独幽 314

DIY一款具有光纤/USB输入的解码器 ◇梓门 316

“动手派”发烧友的听音室与Hi-Fi器材 ◇松贵年 321

PANDA MK2升级版耳放套件 ◇卢伟 324

超强高性能的小功率纯后级LPUHP ◇梓门 327

给MP3播放器外加电源实现自动播放 ◇崔华卿 张新颖 332

罗曼士（Romens）5英寸混合式两分频静电书架音箱的制作 ◇罗坤林 335

威廉逊放大器自制详解☆ ◇胡乃群 337

值得借鉴的入门级DAC制作与测试手法 ◇蒋官今 344

低成本靓声胆机的制作 ◇陈强 347

创客与开源

从Maker Faire到MIT（上） ◇潘昊 351

从Maker Faire到MIT (下) ◇潘昊 357

神奇的3D打印机 ◇肖文鹏 361

桌面制造业——MakerBot工厂的内部观察 ◇曾学明 译 364

2012年春季IIC深圳展特别报道 ◇丰硕 369

国内首届Mini Maker Faire 372

深圳制汇节上的创客与作品 ◇柴火空间 373

专属制作爱好者的“骇客帝国”——新车间 ◇林尧 徐骁雯 376

我看创客空间 ◇杜洋 380

我的实验室

示波器ABC

示波器入门第一课 ◇杨法（BD4AAF） 384

晒晒我的工作室/实验室

彩虹升起的地方 ◇时刻（BA6BF） 388

《无线电》杂志和38度发烧友论坛联合举办第一届仪表工具和基准业余制作大赛 391

示波器ABC

玩转示波器基础测量 ◇杨法（BD4AAF） 392

晒晒我的工作室/实验室

NOAX实验室的开放参观日 ◇张辉（BA6IT）译 396

示波器ABC

示波器操作进阶 ◇杨法（BD4AAF） 398

RIGOL万元级频谱仪DSA815试用心得 ◇聆听 401

测量利器比较——示波器 VS 频谱分析仪 ◇杨法（BD4AAF） 408

晒晒我的工作室／实验室

我与父亲共同构建的家庭电子实验室 ◇陈建皓 410

另辟蹊径造工具——吹锡器 ◇韩涛 414

示波器ABC

示波器基础应用4例 ◇何为超 李体青 马中江 418

频谱仪ABC

频谱分析仪基础知识必备 ◇杨法（BD4AAF） 421

初学者园地

人人都懂磁悬浮☆ ◇薛加民 425

抗磁性磁悬浮 ◇王超 薛加民 429

面包板入门电子制作 打开元件盒☆ ◇杜洋 432

用感光油墨法制作PCB ◇梁文 436

谈谈热敏电阻器的使用常识 ◇张爱迪 440

面包板入门电子制作 面包板上的小电路☆ ◇杜洋 442

常用元器件的识别与使用（29）

形形色色的热敏电阻器 ◇张晓东 446

学·做·用

会迎客的卡通“小龙” ◇张晓东 449

CONTENTS

面包板入门电子制作（3）

"纸上谈兵"的电路 ◇杜洋 453

解密激光传声 ◇薛加民 457

常用元器件的识别与使用（30）

本领奇特的湿敏电阻器 ◇张晓东 459

面包板入门电子制作（4）

初探二极管 ◇杜洋 463

电子爱好者感兴趣的安卓手机应用软件 ◇姜伟伊 张峥 465

常用元器件的识别与使用（31）

小巧长寿的变容二极管 ◇张晓东 469

谈谈BJT与MOSFET的开关特性 ◇任杰 473

小软件有大用处——三款适合电子爱好者的软件 ◇温正伟 478

广播爱好者

民国时期收音机状况之一瞥（三） ◇陈汉燕 徐蜀 480

重温童年——DIY怀旧版的三管机 ◇赵春云（BA3DX） 484

新中国成立初期比较经典的几款国产收音机 ◇陈汉燕 徐蜀 487

忆童年——"再生来复式四管机"的制作 ◇赵春云（BA3DX） 490

美多28A晶体管收音机的修复 ◇赵春云（BA3DX） 492

全数字收音机德生PL-606使用体验 ◇张峥（BG8SF） 494

收藏与鉴赏

晶体管试管机 ◇陈汉燕 徐蜀 498

牡丹8402半导体收音机的修复 ◇赵春云（BA3DX） 499

一台有故事的半导体收音机 ◇陈汉燕 徐蜀 502

50年前爱机人的杰作

——凤凰5961型六灯电子管收音机 ◇陈汉燕 徐蜀 505

熊猫B-11 10波段16晶体管收音机的修复 ◇赵春云（BA3DX） 506

拯救有收藏价值的收音机

黄山牌65-5-A型晶体管收音机复原、维修全过程 ◇赵春云（BA3DX） 509

收藏与鉴赏

三款具有收藏价值的电子管收音机评析 ◇田浩 512

维修帮手

电饼铛的原理与维修 ◇王绍华 518

电磁炉常见故障维修5例 ◇梁仲华 520

电动自行车常见故障的检修 ◇李刚 522

ATX电源的检修感悟 ◇宋华 524

警示灯不发光的检修 ◇梁明义 525

燃气热水器的原理与检修 ◇王绍华 526

电热水瓶的原理与维修 ◇余俊芳 528

LED显示屏专用开关电源的检修 ◇梁明义 牟善江 530

自动出水水龙头的原理与维修 ◇王绍华 532

电磁炉隐性故障维修一例 ◇刘福胜 534

修复一对JBL钛膜高频扬声器单元 ◇倪文贤 535

家庭常用饮水机原理与维修 ◇王绍华 538

美的电磁炉加热温度低故障检修一例 ◇季成荣 539

电视蝙蝠翼天线的改进 ◇张涛 540

小型腰包式扩音机故障维修一例 ◇梁明义 541

遥控壁扇的原理与维修 ◇王绍华 542

计算机电源综合故障检修 ◇梁明义 544

为普通电烙铁增加功能 ◇崔华卿 546

维修网易通交换机的经验点滴 ◇崔华卿 546

问与答 547

注：加☆的文章表示注文的相关资料或程序可在本刊网站www.radio.com.cn或本书配刊光盘中获取。

特别策划

太阳能供电无线气象站信件检测器AVR以太网终端

设计与制作

◇陈士凯
◇插画：coela丸纸酱

笔者的概括能力不强，只好用很长的标题来描述了。简单说来，这里将要介绍我制作的一个系统，利用它可以做下面几件事情：1. 定期检测位于室外的邮政信箱，如果有信件，会用中文语音通知我和家人。2. 一个简单的室外气象站，以半小时的间隔，不间断地采集室外的温度和湿度信息，供后期分析。

同时，这个系统也是：1. 对太阳能供电设备和低功耗系统制作的尝试。2. 对2.4GHz无线网络通信电路的设计。3. 基于AVR单片机的低成本以太网终端的设计。

编者按：

审稿老师特意给这篇文章写了一大段评语，摘录其中一段如下：“为这么点小事而大动干戈，值吗？真是为DIY而DIY，劳民伤财。这个制作用来检测信件，简直是杀鸡用牛刀，大材小用。我看装在窗框上用来防盗报警，作用还大些。”其实，我们刊登这篇文章的用意，还真不是让大家跟着学做一套，而是让大家学习作者的设计思路。本文作者陈士凯是RoboPeak团队发起人，在电子制作方面具有很高造诣，更为难得的是，他把自己面对需求是如何思考、决策、实现的这一过程完整记述了下来，从中不仅能看到如何设计一套完整系统这样的宏观思路，也能观察到具体制作各模块所涉及到的技术细节。有志于自己设计新产品的读者，一定能从这篇文章中获得启迪。

大家可以观看这个系统实际效果的视频，以获得直观的印象

在视频中，我将一份报纸投入家中的信箱，随后家里的IHES（家庭智能化环境系统）终端便会用中文语音报告“有信件，请查收！”同时，在必要的时候，它也会播报出当前由这个系统所采集到的温度和湿度情况，整个过程并无人工干预。接下来，我将开始介绍这个系统的制作过程。首先介绍系统整体构架和技术要求，然后按照从硬件到软件的顺序，介绍每个模块的原理和实现过程。接下来再给出一些数据做出性能分析，最后将交待整个系统的成本。这个系统包括放置在室外的传感器、控制电路，以及在室内的以太网终端系统，后者负责通过无线信号与室外传感器通信，并将结果转发到以太网上。至于视频中所看到（听到）的语音以及IHES核心系统的介绍，本文将不涉及。

演示视频：http://v.youku.com/v_show/id_XMTUzMjI5NjYw.html

系统的构架和性能要求

或许你会想，要检测信箱的信件，方法有很多，最简单的办法就是在信箱入口装一个开关，然后拖一根线到室内和电脑连接。这样应该也能实现视频中的功能。至于温湿度检测，也直接连线出去不就得了？

但实际上这样做也会存在些问题。首先要布线，考虑到家里已经装修过，走明线会影响美观。同时，如果直接将室外的信号与室内计算机系统连接，危险很大。打雷时很容易被雷击到，同时室内外电势差也不得不考虑。另外，要能够有效地检测出信箱中是否存在信件，也不是简单地装一个开关那么简单。首先信箱是现成的，不方便做很大的改动，同时这个开关的设计（机械或是光电开关）也需要一定的考虑。

总之，我还是用了一种比较折腾，但是仍旧适合个人DIY的办法。

首先，这个系统会通过无线信号把位于室外的传感器和室内的计算机系统隔离开。当然，这样一来，事情又复杂了一些，室外的传感器需要自我供电，并且需要设计专门的控制器来负责与室内的系统进行通信。另外，因为这里采用的无线信号并非采用标准的蓝牙或者Wi-Fi等可以被PC识别的协议，所以需要另外设计硬件，将我们定义的无线协议转换成PC可以识别的协议，这里需要有电路将无线信号转换成以太网的TCP数据包中转给PC。

当然，要实现这些还会有更多的细节需要考虑，这也是我为什么会写这篇文章的原因了。我们暂时先不考虑这些细节，先给出这个系统的框图，如图 1 所示。

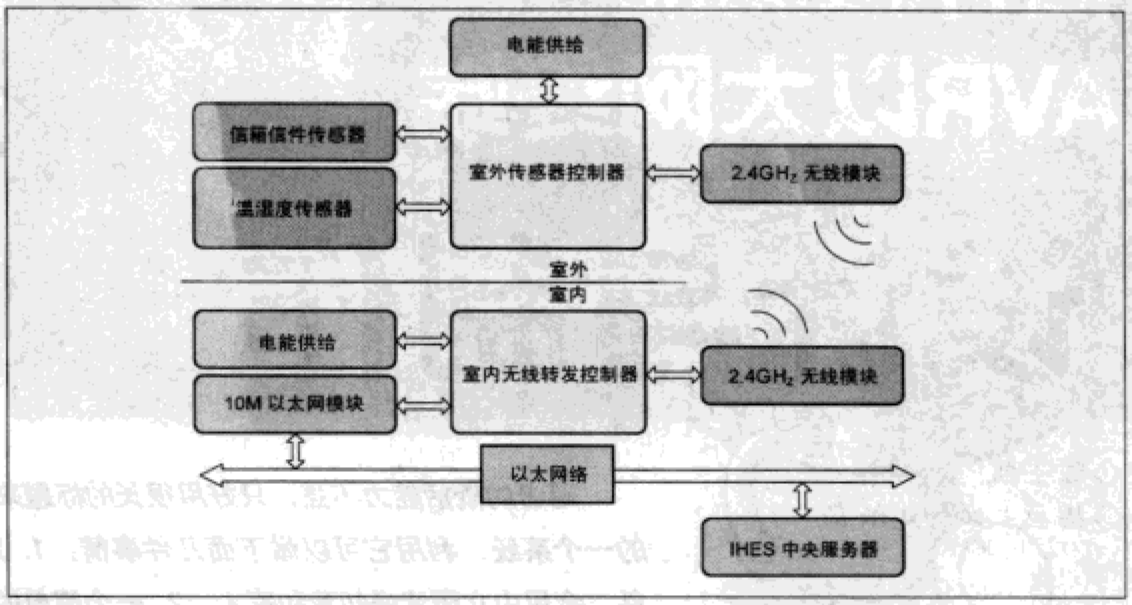


图1 IHES室外传感器框图

在这里，按照各模块所在的位置（室外/室内）进行划分。图中上半部分是位于室外的传感器和控制器。其中各传感器会将它采集到的原始模拟信号转化成数字信号发送给传感器控制器。而传感器控制器会将各传感器报告的数据汇总并作简单处理后，通过无线模块发送给室内的接收终端。

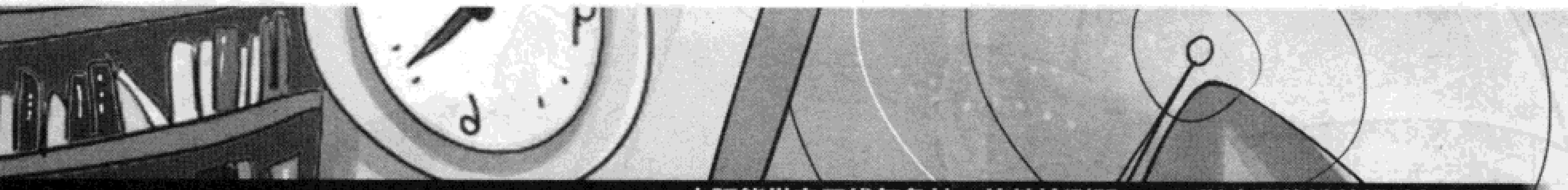
因为采用无线通信，所以再考虑用一个电缆来给室外传感器供电就多此一举了，这里的电能供给通常就是指用电池供电了。但电池用尽后需要更换，比较麻烦，所以在我的设计中，传感器采用了太阳能供电+锂电池蓄电的方式来给室外传感器供电。考虑到成本，这里的太阳能电池不能用很大功率的，这就要求整个室外传感器电路运行在比较低的功耗条件下。并且，南方经常有连续几周的阴雨天气，在阴雨天气中，太阳能电池几乎不能输出功率，此时就需要在设计中将系统的功耗压缩到最小。

这里对供电和功耗要求的指标是：室外传感器能够在一次完全电池充电后，仅靠电池电力维持持续工作15天以上，在晴天太阳能电池的输出功率可以将锂电池完全充满。

图1中的无线模块采用工作在2.4GHz波段、具有收发功能的芯片/模块。这类模块仅实现了物理层的通信协议，需要为它们编写对应的链路通信协议。当然这也适合用单片机来操作。受到功耗的限制，这里的无线模块通信距离比较短。

图1的下半部分是位于室内的以太网/无线转发器。它的主要工作就是将以太网发来的IHES中央服务器请求转发成无线信号，与室外的传感器通信，并将收到的无线数据包转发到以太网络，反馈给中央服务器。另外，这个模块上也开设了一个Web服务器，允许我们直接用浏览器登录该模块，与室外传感器通信。

其实这个模块做的大部分工作也可以直接交给中央服务器（PC）来实现，这样仅需要一个USB接口的无线信号适配器即可。但是考虑到这里选用的无线模块功率较低，在中央服务器处已经无法接收到室外发来的信号，所以我在设计中将这部分单独设计为一个模块，将它放置于离室外传感器比较近的阳台上。但是，考虑到阳台的环境恶劣、占地以及成本因素，这个模块不适合用一台单独的PC来实现。这里我选择用成本低廉的单片机来实现这个模块的转发和Web Server功能。还有一个好处就是功耗很低，可以通过网线供电的方式来给模块提供电能，而不需要另外接电源适配器。后面我也会介绍如何



改造交换机网口来实现用五类双绞线（以太网用线）给设备供电。

室外传感器的数据最终将以TCP数据包的形式发送到中央服务器上，进行处理和分析，并通过语音合成，以中文语音将检测结果反馈给我们，也就是视频中的效果了。

在开始具体介绍原理前，给出两张图片(见图2和图3)让大家有个感性认识。

图2 位于室外的传感器的摆放。其中传感器控制单元隐藏在了灌木后，图上看不到。

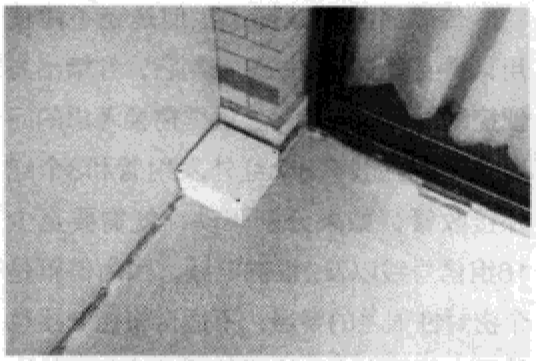


图3 阳台上的以太网/无线转发控制器。

各模块的原理、设计和制作

信件检测

要检测信箱是否有信件，可以从两个方面入手。一方面是检测有新信件的情况，在邮递员投递信件的时候，信件会从信箱的入口经过，要检测这个过程可以在信箱入口安装一个光电传感器。信件经过入口的时候，光电传感器光路会被阻隔，因此产生一个脉冲信号。通过检测这个脉冲信号，就可以知道此时有邮递员送信了。

但是这并不符合实际要求。对于邮件检测的一个需求是：因为家中不可能时刻都有人在，所以当有新信件的时候，除了能够尽可能早地通知这个事件外，还需要在每天的特定时间，比如晚上吃饭和早晨起床的时候，告诉家里目前信箱里是否还有信件，显然这个办法是不行的（因为很难检测信件被取走的事件）。

要检测出信箱当前是否有信件，办法也有不少。复杂的，可以安装摄像头通过图像识别来处理，但这显然没有必要。简单的，可在信箱底部安放一个重力传感器，但有时候信件就是一张纸（比如明信片），用重力传感器似乎不是很好的办法。

这里我采取的是在信箱底部安装一系列红外传感器，组成一个整列的办法。当有信件投入信箱后，它就会覆盖在这个传感器阵列上方，此时只要有1个传感器被遮盖，就可以检测出有信件存在，原理如图4所示。

图4中最下方的框就是装有红外传感器阵列的平板，当有信件投入信箱后，它会覆盖在这个平板上方。当然，也会像图中那样，因为面积较大，只有一端与传感器平板接触。

这里的红外传感器采用的是反射式对管，即一个红外发射管和一个红外接收管（光敏二极管）。当有信件覆盖在一个传感器上方时，红外发射管产生的红外光会通过信件反射并被接收管感应。而如果传感器上方没有信件（或者在很远的距离），则接收管几乎不能收到由发射管产生的红外光。当然，这里的一个前提是信箱内壁的反光率很低。

另外，因为信件的大小不一，从很大的报纸到小尺寸的信封都有。如果传感器数目过少或者摆放过于集中，信件很有可能正好落在没有放置传感器的区域，所以这里我用了8个传感器，放置成前排5个、后排3个的形式。至于如何摆放有效，主要是看实际测试的效果，可以参考的是，两个横向的传感器之间的间距比一个较小的信封宽度略小。

这里描述的传感器阵列，目前市面上没有现成的（至少我不知道），我找到了一块装修多余的木板自行加工。

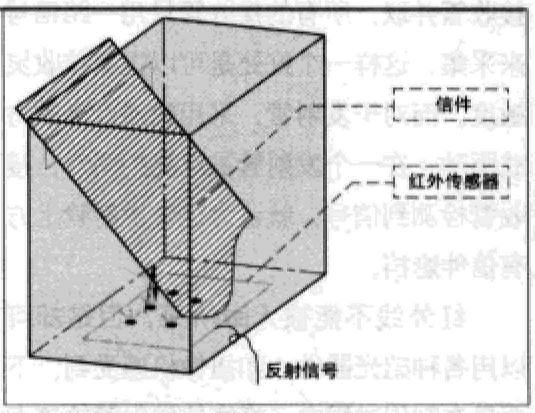
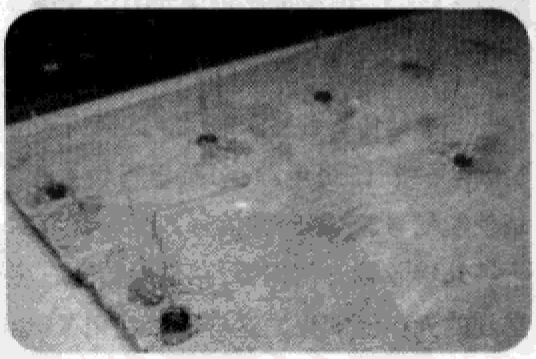


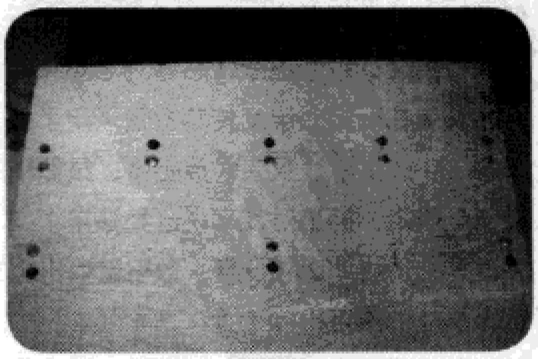
图4 基于红外传感器进行信件检测

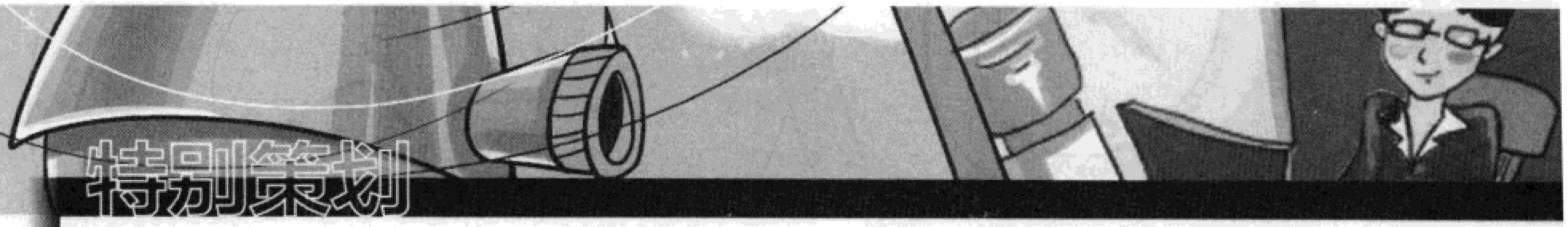
制作方法

1. 首先将木板切割成合适的大小，然后打孔，并安装红外传感器（一个红外发射管和一个红外接收管为一对）。用热熔胶将它们固定。



2. 下图展示的是安装好后的效果。





传感器阵列做好了，但是还不能使用，需要有驱动电路来控制它，并给出方便控制器理解的信号。这里需要考虑的问题是，现在我有8个红外发射管和8个红外接收管，如果分别驱动，就需要至少16组信号线以及2根供电线。因为信箱是个密封性很差的容器，不适合将控制器也放置在信箱当中，这样就要求控制器与这个红外传感器阵列的信号连接，要用尽可能少的线路来实现。

这里采用的策略是，将所有的红外接收管并联，所有的接收管只用一路信号来采集，这样一个好处是可以提高接收灵敏度。而对于发射管，采用轮流点亮的方式驱动，在一个发射管被点亮的同时，接收管检测到信号，就认为这个发射管上方有信件遮挡。

红外线不能被人眼所见，但是却可以用各种感光器件，如摄像机感受到。下面是在制作过程中，将红外发射管轮流点亮的过程放慢1000倍速度拍摄的视频，方便大家理解。

演示视频：http://v.youku.com/v_show/id_XMTUzMjI5MTQw.html

红外传感器阵列控制电路

要轮流点亮8组LED，自然就想到用74HC595移位寄存器来实现，这样仅采用5组信号线（2路电源、1路串行信号、1路使能信号、1路时钟信号）即可。而对于红外接收管，再需要1路信号传输它感受到的光电流即可，这样一共耗用了6组信号线。

另外，邮政信箱虽然密封性不强，但是防雨，这很适合放置湿度传感器。所以在我的设计中，湿度传感器也与邮件传感器安装在一起。湿度传感器我采用了国产的DHT11单总线数字式传感器，虽然精度不是很高，但是对我来说已经够用了。关键是它的成本比较低廉，数字量输出也适合单片机使用。

将上面提到的74HC595和DHT11整合在一起，便成了这里的传感器控制电路，它的原理图如图5所示。可以看出，这样一来正好使用了8路信号线，我最终使用了五类双绞线来进行信号的传输。

大家可以参照在测试这个信件传感器时拍摄的视频来获得直观的印象。视频中，传感器已经连接到了控制单元上，我制作了一块临时电路，用于与控制单元建立无线连接，将邮件传感器的信息发送回PC进行调试。可以看出，这个传感器能够很有效地检测出位于其上方一定距离内的信件。

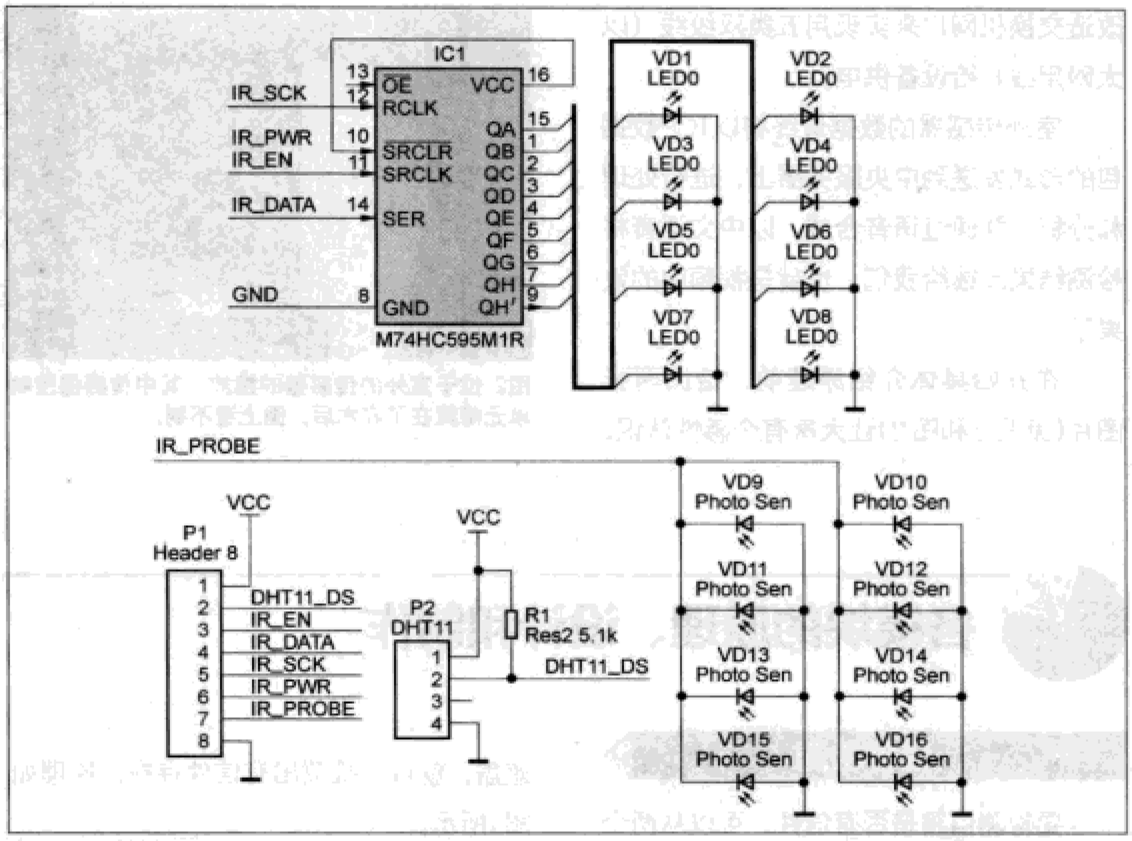
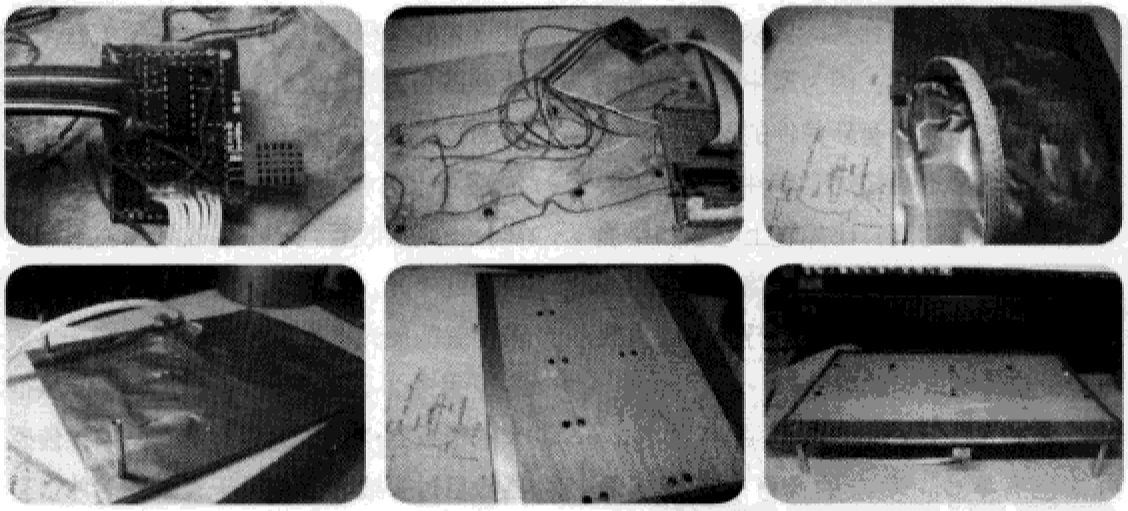


图5 传感器控制电路

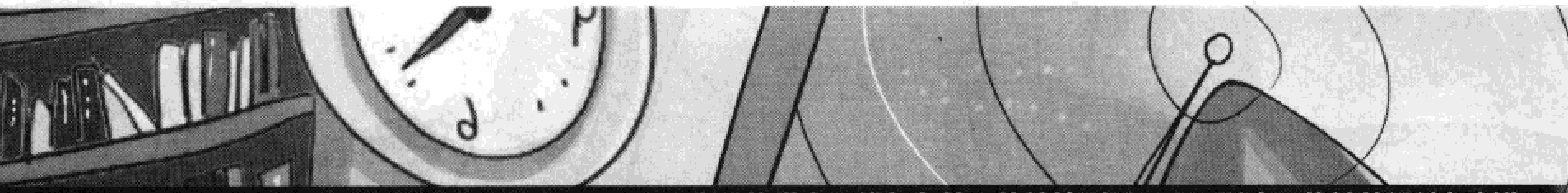
PDF 电路图PDF文档下载地址：http://www.csksoft.net/data/ihes_osensor/circuit/IR_matrix.pdf

制作方法

将控制电路与传感器阵列焊接在一起后，稍微对这个传感器做一下包装。



演示视频：http://v.youku.com/v_show/id_XMTUzMjMwNDk2.html



温湿度检测

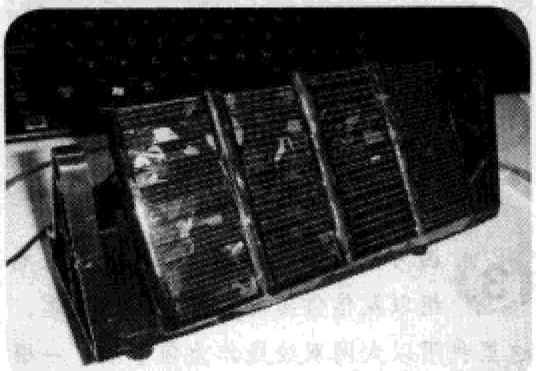
我采用DS18B20单总线温度传感器以及DHT11温湿度传感器来采集室外的温湿度情况。其实仅仅使用DHT11便可以采集这两个数据，但是相对而言，DS18B20的分辨率更高、误差更小。同时，在我的制作过程中，DHT11是在后期新增加的，所以我仅使用了DHT11的湿度采集功能。

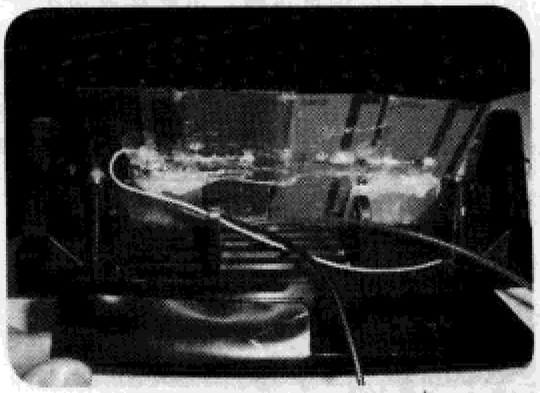
在前文中已经有所介绍，DHT11是和信件传感器组装在一起的，目的是为了将它放置在一个空气相对流通的环境。而我将DS18B20焊接在室外传感器控制器的PCB上，并安装在一个密封的壳体当中，这将在后文中介绍。

制作方法

我使用4片这样的面板加以拼装，并且利用废旧机器的部件作了一个支架。

这4块面板采用并联的方式连接（需要在其间串联保护二极管，如5819，防止因为部分电池板电压差异造成的倒流）。在上海冬日晴天的阳光照射条件下，测得这块面板的短路电流可到170mA以上。





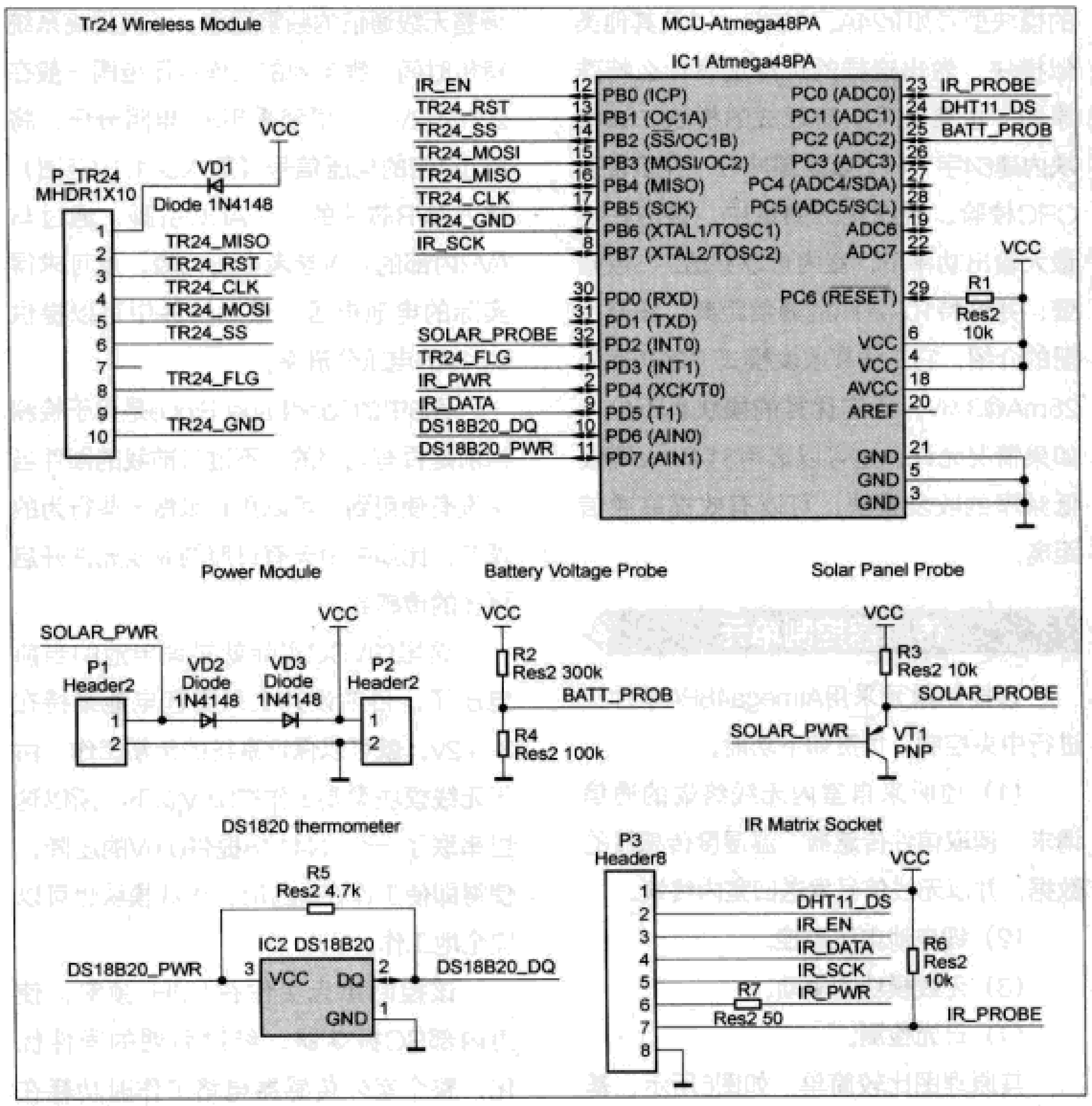


图6 传感器控制单元

PDF 电路图PDF文档下载地址：http://www.csksoft.net/data/ihes_osensor/circuit/checker.pdf

太阳能面板和锂电池

出于成本和其他方面的考虑，这里我选用了功率较小的面板。虽然输出功率不大，但是其表面积小，适合安装。

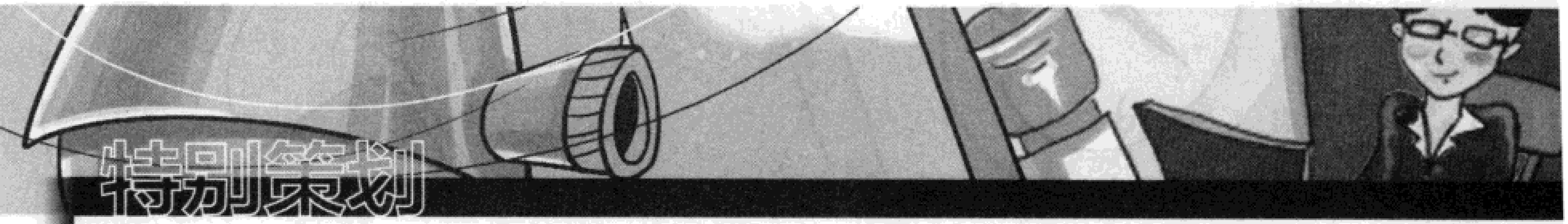
太阳能面板是我在网上购得的单片价格为10元的多晶面板，其性能参数为：最大输出电压6V、短路电流75mA、工作电流50mA。

对于电池的选择，按照前文提到的功耗和待机要求，我使用了900mAh的锂聚合物电池。如果按照无日照情况下，系统可以工作15天来计算，那么整个室外传感器系统允许的平均功耗大概为2.5mA@3.8V。如果以一天日照为8小时计算，那么对这块电池完全充电所需的平均充电电流在112mA，差不多可以满足我的要求。

严格地说，要对锂电池充电，需要有专门的充电电路来提供先恒流、后恒压的充电方式。但是这里出于考虑成本以及太阳能电池输出功率比较低的情况，我就偷了下懒。一般锂电池自带的保护电路都会提供过充、过压保护，所以在后文可以看到，在经过几个二极管降压后，太阳能面板的输出直接对锂电池进行充电。而在后文的验证数据中，也可以看到锂电池保护电路对过充的保护。当然这是不标准的办法，不推荐使用。

无线模块

我选用了基于em198810芯片的2.4GHz无线收发模块，市面上可以买到



的模块型号如Tr24A、Tr24B，以及其他类似模块。做出这样的选择没有什么特殊原因，主要是手头有现成的模块。该模块内建64字节FIFO收发缓冲区，并且带有CRC校验。我在实际测试中，该芯片在最大输出功率下，室内可以穿透2~3层墙壁，并维持10~20m的通信距离。按照手册的介绍，它工作在收发模式下的功耗为25mA@3.6V。比它优秀的模块也不少，如果情况允许，也可以选用314MHz等较低频率的收发模块，可以有效提高通信距离。

传感器控制单元

该控制单元采用Atmega48PA单片机进行中央控制，负责如下功能。

（1）监听来自室内无线终端的通信请求，读取信件传感器、温湿度传感器的数据，并以无线信号发送回室内终端。

（2）锂电池电压监控。

（3）无线模块的驱动。

（4）日光检测。

其原理图比较简单，如图6所示，基本功能就是对几个传感器的驱动，以及采用电阻分压后的锂电池电压检测。PA后缀的AVR芯片比之前的版本（Atmega48V等）功耗更低，适合这里的应用要求。

对锂电池进行电压检测，主要是为了在调试过程中观察系统的实际工作性能，并在今后针对当前电池剩余电量适当调整无线通信的频繁程度，从而提高系统待机时间。锂电池的工作电压范围一般在2.7~4.2V，这里我采用3:1电阻分压，将缩小4倍的电压信号（落入0~1.1V范围）接入AVR芯片的一个ADC引脚，通过与AVR内部的1.1V参考电压比较，就可求得实际的电池电压。最后固件中可以提供0.01V的电压分辨率。

图6中的Solar Panel Probe是用于检测当前是否有光照的，不过目前我的固件当中没有使用到。可以用它来做一些行为的调节，比如在白天有日照的时候允许开启更多的传感器。

这里的VCC实际就是锂电池的当前电压了，目前设计上只要锂电池维持在3~4.2V，就可以保证系统的正常工作。由于无线模块需要工作在3.6V以下，所以这里串联了一个1N4148提供0.6V的压降，使得即使工作在4.2V时，无线模块也可以安全地工作。

该控制单元工作在1MHz频率，使用内部RC振荡器。经过后期的固件优化，整个室外传感器电路工作时功耗在1.1mA@3.8V。即使没有日照，室外传感器也可以工作近一个月时间。

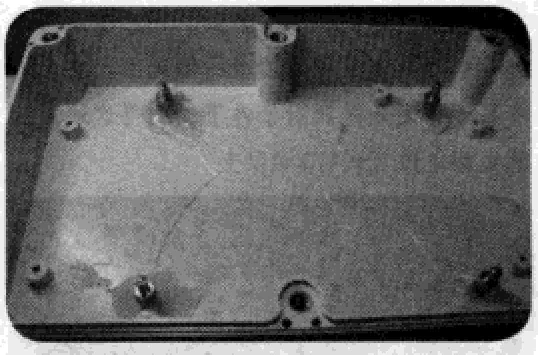
室外传感器的组装

为了理解方便，先介绍我将上述传感器模块组装并安放在室外的过程。至于固件的编写，会在后文介绍。

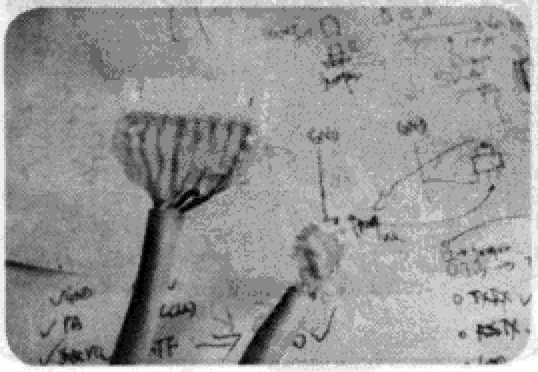
制作方法

1 前文已经提到，传感器的控制单元不适合与信件传感器一同放置在信箱内，除了前面提到的密封问题外，还有个因素是我家的信箱是铁质的，会对无线信号造成屏蔽，所以控制单元需要另外放置。为了保护电路不受风吹雨淋破坏，我使用了如下的密封机壳。这类机壳可以从网上购得，价格一般在15元左右，其中含有密封橡胶，防护性能应该不错。

2 为了将PCB固定在壳体内，我用热熔胶固定PCB的铜座。

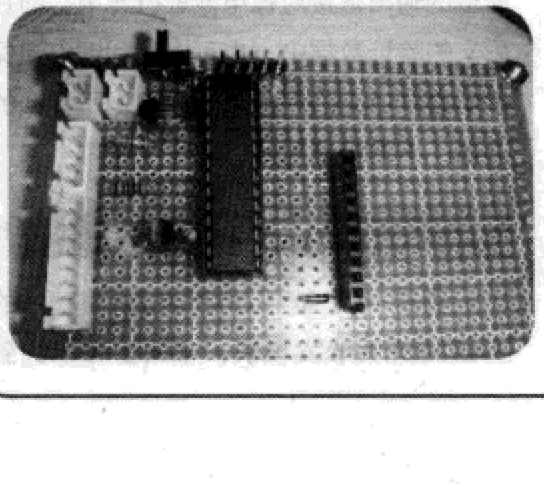


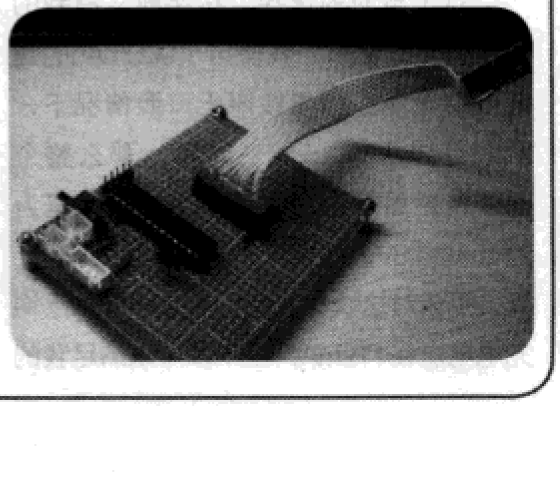
3 因为传感器控制单元、太阳能电池组以及信件传感器分布得比较远，这里我用以太网双绞线作为信号线，一根用于信件传感器和湿度传感器信号，另一根用于太阳能供电传输。用热熔胶保护好接口引线。

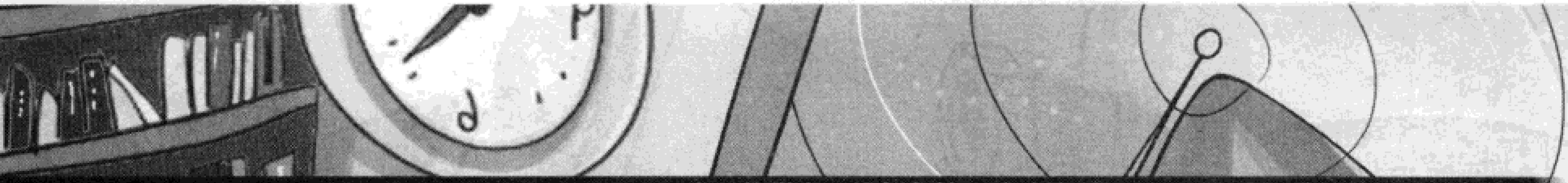


制作方法

以下是按照原理图实现的PCB。它们是在不同制作阶段拍摄的，所以可以看到接口有区别，右图上已经安装了无线模块。

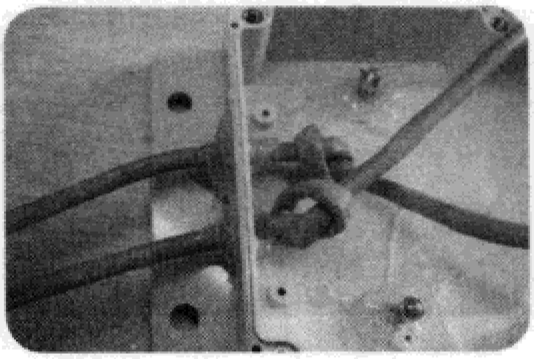




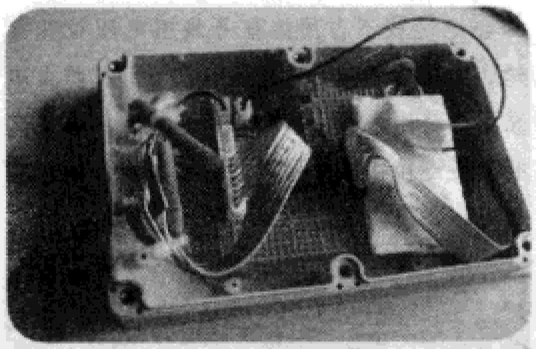


制作方法

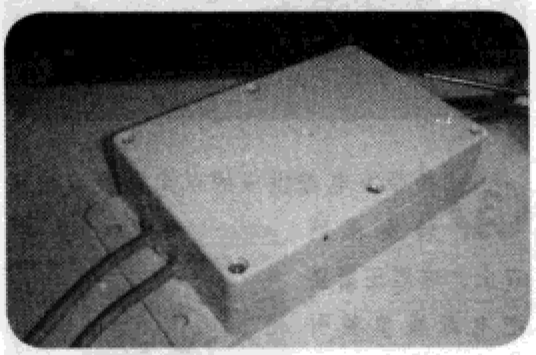
4 随后在壳体上打孔，将这两根引线穿进壳内，并用热熔胶以及AB胶密封住缝隙。



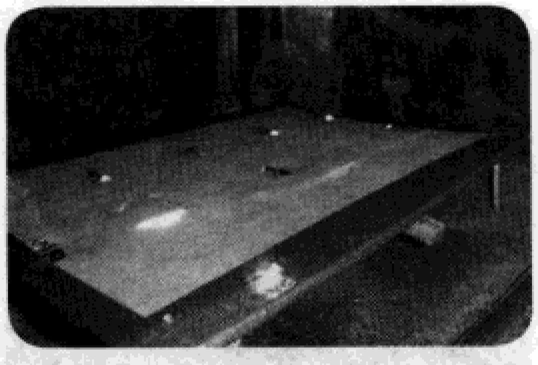
5 最后，把控制单元PCB、锂电池等装入壳内并固定。



6 下图展示的是盖上盖子的效果。



7 接下来把信件传感器放进信箱底部。



8 将太阳能电池组放在一个比较高的平台上，并用尼龙绳固定住。

9 把机壳放置在灌木丛中的隐蔽位置，目的之一是为了防止阳光直射。

10 10. 最后，把这些部件用双绞线连接。下图是还没有把连线隐藏的画面，方便大家理解。至此室外传感器部分就制作完成了。

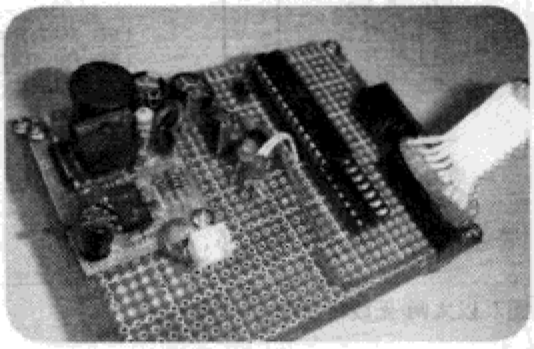
室内以太网/无线转发器

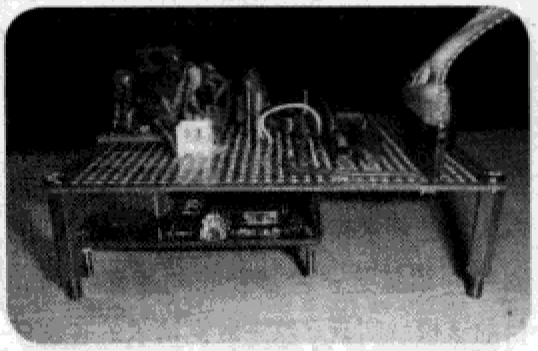
之前已经提过，因为无线模块的通信距离有限，且中央服务器不能直接与传感器无线信号建立通信，所以需要设计一个模块，负责将来自中央服务器发来的TCP数据请求打包成无线数据包，发送至室外传感器，并且将接收的结果用TCP包送回中央服务器。

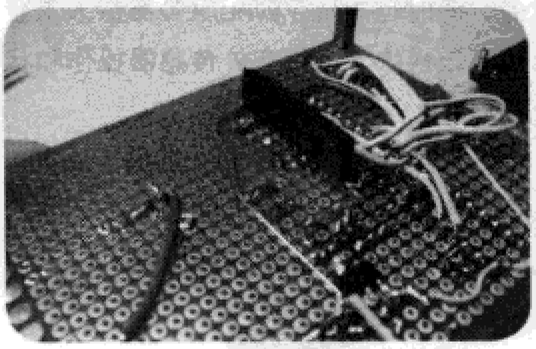
这里我使用Atmega8L作为该转发器的中央处理器，并使用ENC28J60 SPI接口的以太网适配芯片，实现AVR芯片接入以太网的工作，其原理图如图7所示。

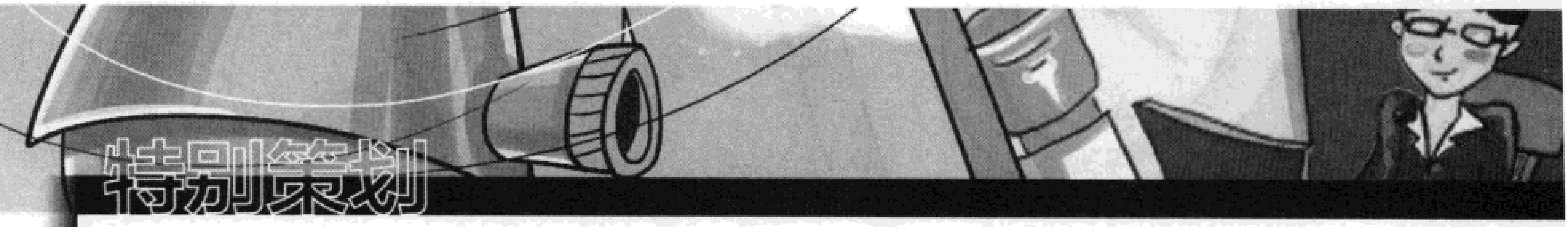
制作方法

该模块的PCB如图所示，上方为12V→5V的DC-DC开关电源模块，下方为以太网模块。这里我使用了现成的DC-DC降压开关电源模块以及ENC28J60以太网模块，它们都可以在网上购买到。









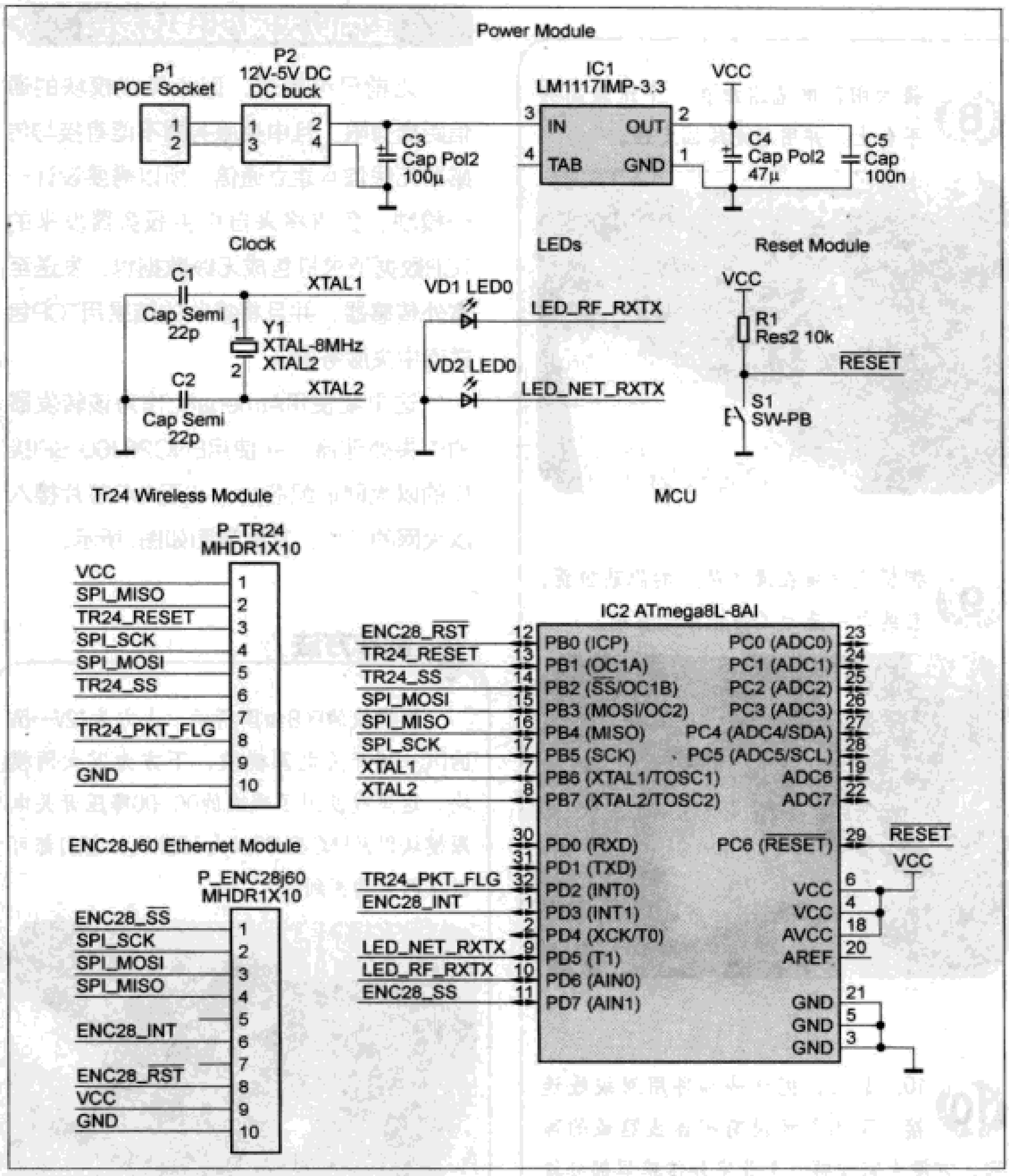


图7 以太网/无线转发器

电路图PDF文档下载地址：http://www.csksoft.net/data/ihes_osensor/circuit/etherbridge.pdf

该模块的AVR单片机工作在8MHz的频率，电路也很简单，单片机负责将来自以太网的请求转发到无线网络，在后文的固件介绍部分，会涉及它的工作策略。目前该模块实现了TCP数据请求的转发任务，同时也内建了Web服务器供人工登录至该模块，进行室外传感器操作和状态查询。

对于AVR与ENC28J60的配合使用，可以参考tuxgraphics.org的名为《An AVR microcontroller based Ethernet device》的文章。

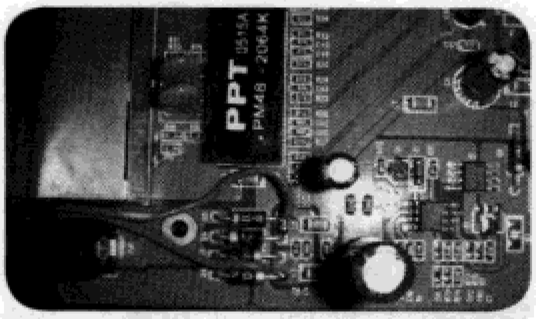
整个模块工作在3.3V电压下，因为整个模块功耗很低，所以这里从以太网取电来给模块供电。在后文将介绍，以太网将提供13V左右的直流电能，为了有效利用，这里采用了DC-DC开关电源模块将12V电压转化成5V左右的电压，再通过三端稳压器稳定在3.3V。

实现以太网供电

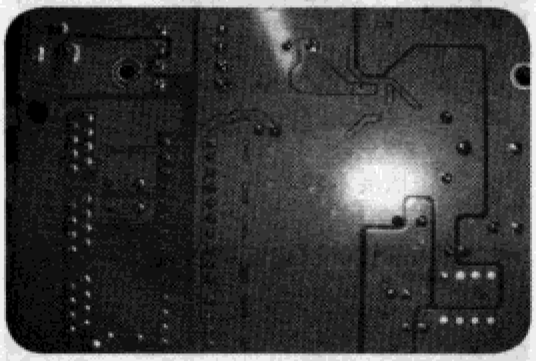
以太网供电其实有专门的设备，也有专门的名词，叫做POE（Power Over Ethernet），但是这类设备一般很贵，没有必要为此去购买它们。我用了一种不规范的办法来实现供电，因为对于

制作方法

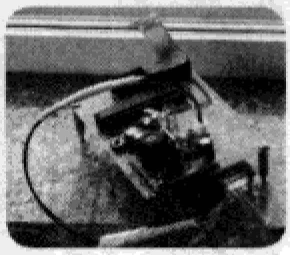
1. 这是我家用的交换机的PCB。我将它的电源部分引出（图上红蓝线），测得电源电压在13.5V左右。



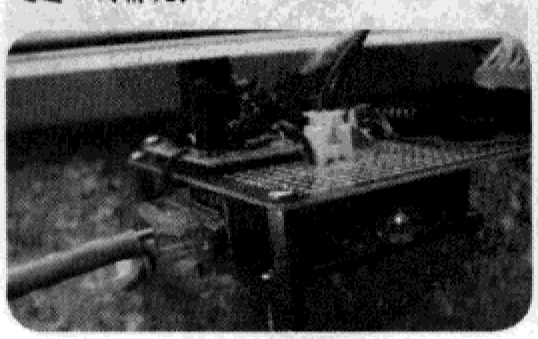
2. 然后观察用于连接室内收发传感器以太网口的对应网口，可以发现另外4根双绞信号线焊盘没有被使用（实际上都会把这些不占用的信号线用电阻拉低接地，所以自制时要注意将它们断开，防止短路），将刚才引出的电源线焊接在上面。这样凡是连接在这个网口的以太网线，就都有了电源供应。

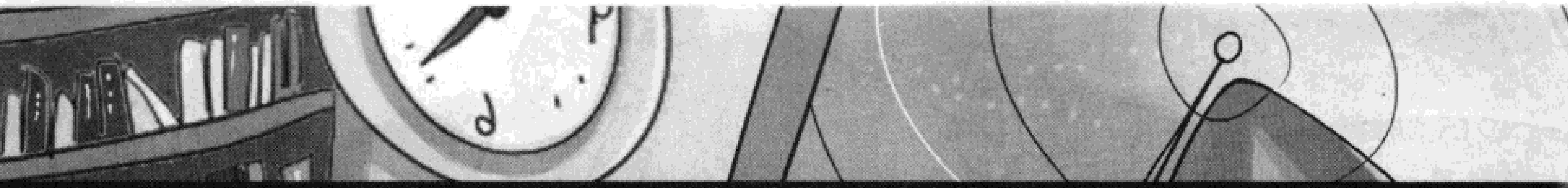


3. 将带有电源供应的以太网线连接到转发器网口上，这里还需要把电源线单独引出，并接到DC-DC模块上。



4. 下图展示了通过以太网给模块供电的情况：





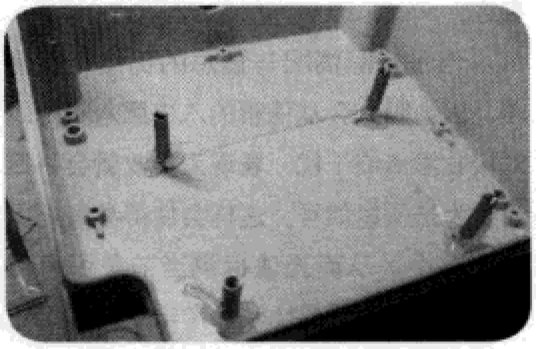
10M/100M的以太网，8根双绞线只用到了4根传输信号，其余4根是空余的，可以用来传输电能。当然这样做也有一定危险，比如误将其他设备接至这根以太网线，就会造成设备烧毁，如果要用这个办法，需要平时多加小心。

那么现在的问题是，用来传送的电能又由谁来供给？我的办法是通过这根以太网线连接的交换机引出自身的供电。

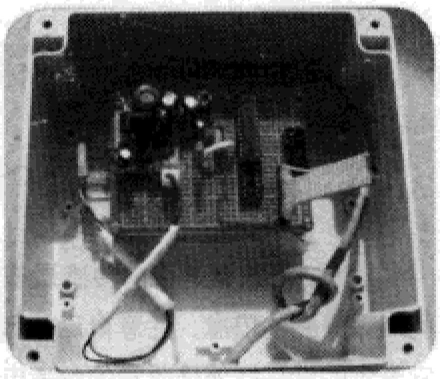
模块的安装

这里同样先介绍最后的组装部分，固件的编写将在后文介绍。这个模块同样也要用密封塑料机壳加以保护。

1 首先固定住PCB的铜座。



2 然后将所有部件装入壳体。



3 然后将所有部件装入壳体。

好了，现在有关电路制作的介绍已经完成，下面再来介绍它们的固件开发和运行策略。

软件/固件设计

这里仅交待相关模块的固件的设计思路以及高层次的逻辑分析。至于具体的细节，诸如依赖的代码库，这里不作过多介绍，请参考文后的相关资料。

系统协作模式

先从比较高的层次来介绍整个系统的运作。整个系统中，室外传感器和室内无线/以太网转发器永远都是被动工作的。也就是说，如果没有外界的请求，它们永远只会工作在监听状态，不会主动去与外界联系。这样的设计简化了流程，又降低了功耗。

在整个系统中，IHES中央服务器将占有主导权。在服务器中运行着一个守护进程，它负责每隔一定的时间，通过以太网向室内转发器发出请求，室内转发器在接受到请求后，进而向室外传感器发送无线请求。最后把收到的数据发送回IHES主服务器。

但是，由于无线通信的不确定性，在设计当中，中央服务器不适合在向室内转发器发出请求后等待着对方回应。这里中央服务器在发出请求，并确认转发器收到请求后就切换到其他任务继续。在一定时间后，中央服务器会再次发出请求，要求转发器把上次请求到的数据发送回来。

同样的通信模式也应用在转发器中。转发器会在收到IHES服务器数据请求后，开始与室外传感器联络，但它不会一直等待对方将传感器数据传回，同样它也会切换到其他任务，并在一定时间后再次联系室外传感器，将采集到的数据收回并存储在自身内存中，等待IHES服务器来取回。

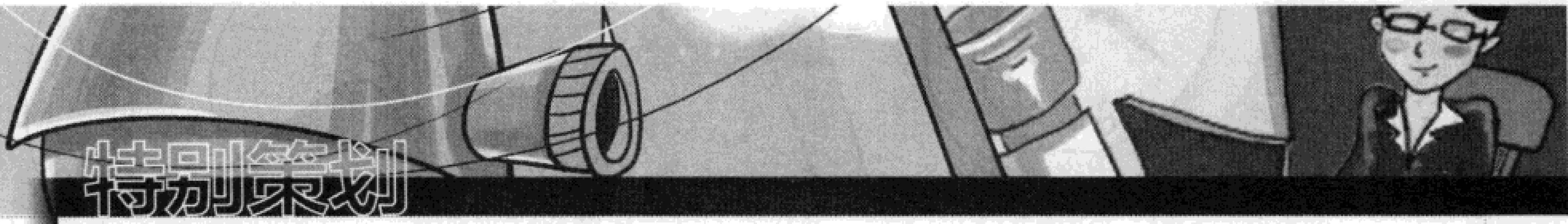
这样的通信模式含有下面两个原语：预取命令（Prefetch Command）、取回命令（Retrieve Command）。

图8展示出了整个系统的协作模式。如图所示，Sensor Checking Daemon是运行在IHES中央服务器上的一个“意识进程”，它会每半小时向以太网上的EtherBridge Agent（也就是室内转发器）发送一个IHES TCP请求包，但此时转发器不会开始无线通信，而只是向服务器回应，告诉该请求已经收到，并告诉服务器数据在多长时间后可以获取。中央服务器在收到回应后就转而调度其他IHES“意识进程”。

EtherBridge Agent在收到预取指令之后，就会将自身状态机转换到通信模式，开始联络室外传感器（Outside Sensor）。但同样它也只是先发送预取指令，因为室外传感器可能会用比较长的时间（>5ms)来收集传感器数据。这里涉及一个无线通信的策略问题，所以适合用预取指令来实现。同样的，室外传感器在收到预取指令后，也仅仅是回应自身已经收到了请求。在室内转发其收到传感器回应之后，它会切换工作模式到其他任务，比如监听并处理新的TCP或者HTTP请求。室外传感器在回应预取命令后，开始真正的传感器数据收集，并且将数据缓存在自身内存中。在一定时间后，转发器又开始联系室外传感器，此时室外传感器就会将真正的数据传回。收到传回数据后，转发器也同样将这份数据缓存在自身内存，等待IHES主服务器回收。

采用预取模式的原因

无线通信丢包现象比较普遍。目前的处理是在发生丢包时，命令发送者再次发送重试，直到收到了对方的正确回应（通过CRC校验）。基于这样的设计，如果室外传感器在收到请求后就进行传感器数据读取并将结果送回，很有可能会因为这个过程中的丢包，使得转发器再次不断地请求。这样一次数据请求就会造成室外传感器多次去收集数据，会消耗较多电



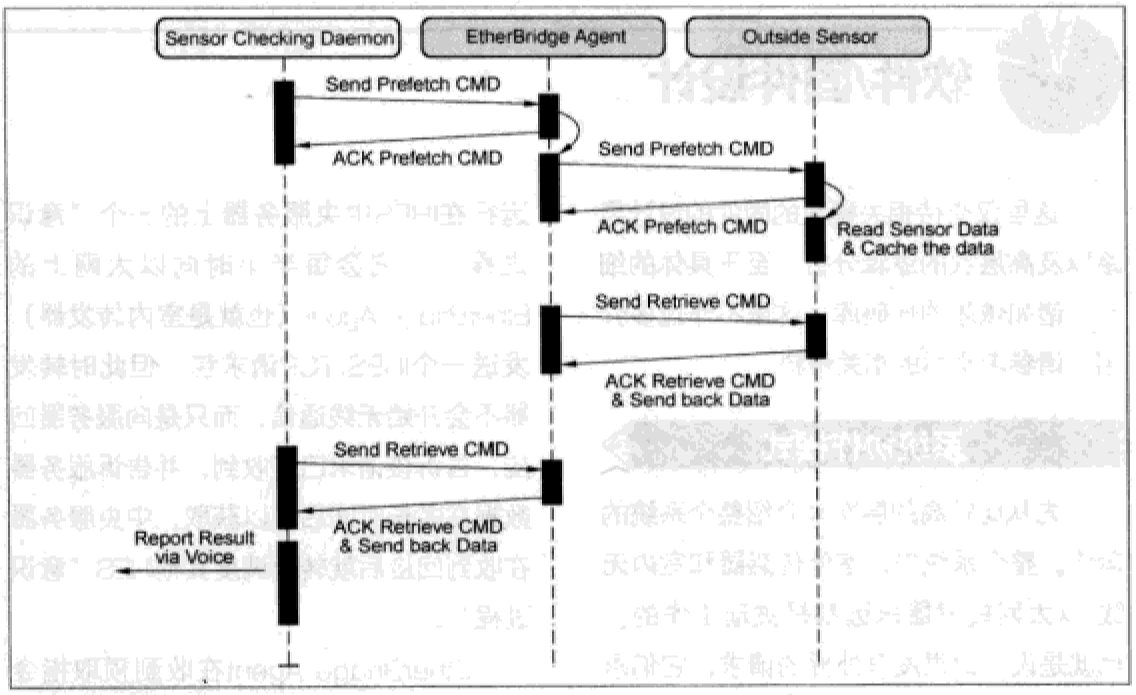


图8 整个系统的协作模式

能（各传感器仅在收集数据时开启）。同时数据收集比较耗时，需要大约5ms的时间，也就是说在这样的模式下，转发器也需要等待5ms重新发送数据包，可能会导致总的通信时间延长。

以太网通信虽然丢包现象相对较少，但是会出现同时有多个请求者的情况，比如IHES服务器和从Web服务器登录的用户都希望访问室外传感器。这里要处理的问题就是降低一次数据通信的延迟。同时因为AVR单片机相对简单，不能很有效地处理多任务协调，如果在一次新的以太网数据请求过程中又发生了新的请求，就难以进行数据的一致性维护。

好了，看段视频来描述这个过程吧。这段视频是IHES服务器进行开机自检中的片段。它会将与室外传感器的数据请求全过程用语音朗读出来。从中可以看（听）出这个系统的协作过程。

有了总体的框架后，下面介绍室外传感器和室内转发器的固件实现。

演示视频：http://v.youku.com/v_show/id_XMTUzMjMxMTA4.html

室外传感器固件设计

前面已经介绍了该部分的电路以及协作关系，这部分的固件主要实现如下功能：

（1）驱动各类传感器，读取传感器发来的数字信号。

（2）读取当前电池电压。

（3）无线模块驱动程序。

（4）监听无线网络请求。

（5）自身运行状态控制和节能控制。

前两个部分不需要做很多解释，当前电池电压会采用如下格式保存：

[15:8] Voltage integer : 2^7+2^6+...+2^0

[7:0] Voltage decimal : 2^-1+2^-2+...+2^-7

它可以提供0.01V的电压分辨率。

无线模块驱动我参考了Alexander Yerezeyev编写的驱动代码，这里主要对其驱动逻辑进行时序上的优化，同时增加了自动丢包重发功能。

信件传感器的信号采集

之前已经介绍了信件传感器的工作原理，这里介绍一些细节问题。如果有信件遮挡一个传感器，则它会受到来自红外发射管的反射光，在固件看来，这个反射光就是一个电压信号，且电压越低，反射光越强。

固件会驱动74HC595轮流点亮红外发射管，随后读取此时接收管上的电平信号：

ir_sensor_voltage = analogRead(IR_SENSOR);

这是一个范围在0~1023的数值，如果某一次接收管的电平比较低，则可以怀疑它对应的发射管上方有信件遮挡。所以还需要再读取一次参考电平，即在点亮任何发射管之前接收管的电平数值，因为此时没有任何红外光产生，所以这个电平信号可以认为是没有信件时接收管的输出信号（实际上并非如此，后文会有介绍）。

在我编写固件时，进行了一些测试，最后判断当前接收管电平和参考电平之差，如果小于阈值IR_DETECTION_THRESHOLD（0x65），则可以认为有信件存在。

但是实际情况与预想的仍然存在偏差，因为阳光会从信箱的入口照入箱内，对接收管造成干扰，表现为接收管会将日光认为是反射信号。这样会使得参考电平也非常小，从而无法检测当前是否有信件。解决的办法是比较参考电平，如果它自身也小于一个阈值时，就认为本次的检测结果无效。下面给出实际的测试数据来说明这个问题：

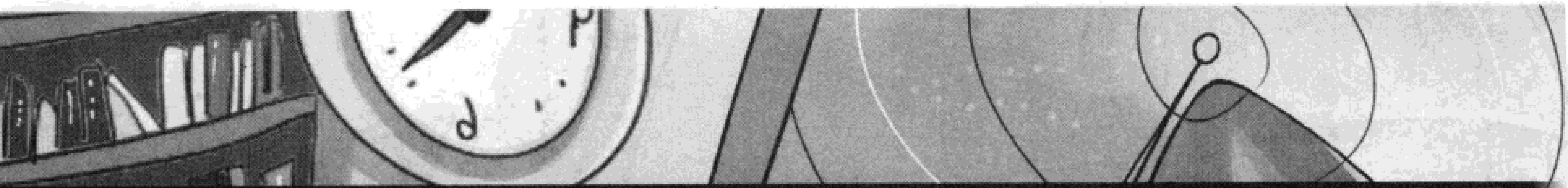
2010-02-20 07:08 00.7 944.09 0666

2010-02-20 07:38 00.9 954.12 0071

上面2组数据是目前传感器在这些时间点采集到的信息。注意最后一列数值，它表示的就是红外接收管的参考电平，可以很明显地看到，07:08时阳光还比较柔和，参考电平比较高，但当太阳升起后，参考电平迅速降低为71。这样的条件是无法测出信件是否存在的。

解决办法其实也很简单，就是在信箱入口安装遮阳布，不过我没有这么做。另外，如果信箱内有信件，它同样也会遮挡阳光入射，从而提高参考电平，这样又可以有效地检测出信件的存在了。

由于参考电平的波动性，我打算将



参考电平有效性的比较交给IHES中央服务器进行处理，这样可以避免频繁地修改室外传感器固件。所以，对信件的检测，将返回如下结果：触发的红外传感器编号（如果没有传感器被触发，为0）、参考电平。

相信大家已经听到了之前的自检语音中播报参考电平的情况了。

运行状态和节能处理

降低功耗对室外传感器来说非常关键，固件可以做的内容其实很简单，就是尽可能地降低每个设备的功耗。

对于各类传感器，仅在需要采集数据时才将它们唤醒或者接通电源。对于无线模块，25mA的电流消耗绝对是这个模块中最耗电的。所幸可以将RF芯片设置为睡眠模式，这样可以将功耗设置为微安电流级别。对于AVR芯片自身，则尽可能要在空闲的时候将其设置为睡眠或者待机模式。

这里面临的问题是无线模块在睡眠模式下无法接收信号，所以需要定期将它唤醒，监听一段时间后再次进入睡眠。但是，也需要在接收到数据预取指令后，保证无线模块工作一定的时间，方便室内终端发送取回指令后能够立刻做出响应。所以，最终室外传感器会使用如图9所示的状态机进行工作。

室外传感器分为空闲和激活两大状态。在大部分情况下，室外传感器都将工作在空闲状态下，此时所有传感器都被关闭或者设置在睡眠模式。无线模块会定期唤醒进行监听，如果在监听过程中收到了来自室内终端的情况，则会切换到激活模式。否则无线模块会再次进入睡眠模式，在这个模式下，AVR芯片只有在维护状态变换的情况下才会工作，平时都工作在睡眠模式（关闭时钟信号）。

图9 室外传感器的状态机图

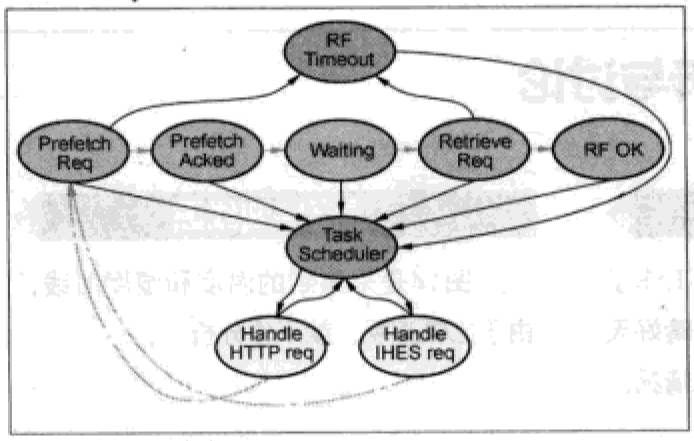
空闲模式下，室外传感器的功耗很低，仅为1.1mA@3.8V的水平。

每2.9s，无线模块将被唤醒并设为监听模式，在工作约20ms后又进入睡眠模式。我们可以利用这个数据计算无线模块的平均功耗= 20/2900×25mA ≈ 172μA。这样由无线模块产生的功耗负担就没有了。

如果按照1.1mA的平均功耗计算，那么在没有日照情况下，900mAh的锂电池可以供整个传感器模块工作34天。

当然，如此短暂的监听时间会延长通信的时长，所以在空闲模式下只要收到了预取指令，固件就会切换到激活模式。一进入这个模式，固件便开始收集传感器数据，而同时无线模块将持续监听请求。当然，激活模式有一个有效时长，经过一定时间后，固件又会回到空闲模式，这个时长目前为1s。

对于处理无线请求，在引入了状态管理后就非常简单。对于预取指令，固件要做的就是将Idle State切换到Active State。而对于取回指令，只需要简单地发送回目前内存中，去读上一次的缓存结果即可。



10 室内无线收发器固件的状态机

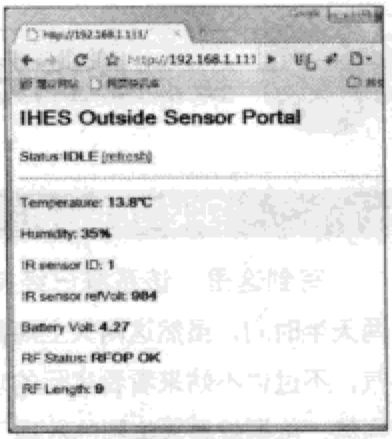


图11 用浏览器登录至收发器

室内无线收发器固件设计

收发器的以太网操作部分由tuxgraphics.org中提供的参考例程修改而来。该模块会同时监听80端口（HTTP服务）和8003(IHES agent service)，前者用于人工登录至该模块操作，后者用于IHES中央服务器通信。该固件采用如图10所示的状态机工作。

其中黑色箭头是实际的状态转换关系，而蓝色箭头是逻辑上的状态转换关系。前面已经指出，无线通信最多可能需要3s时间与室外传感器取得联系，为了保证这个等待时间内收发器可以及时响应来自网络的请求，这里将无线通信拆分成几个子状态，必要时可以将CPU时间让出来，处理以太网请求。

图11和图12分别是通过Web服务和IHES Agent协议与该模块驱动联系的效果图。软件部分就介绍到此，相关的源代码可以到《无线电》杂志官方网站（www.radio.com.cn）下载。

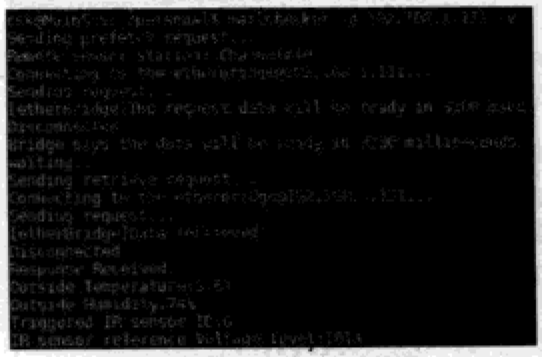
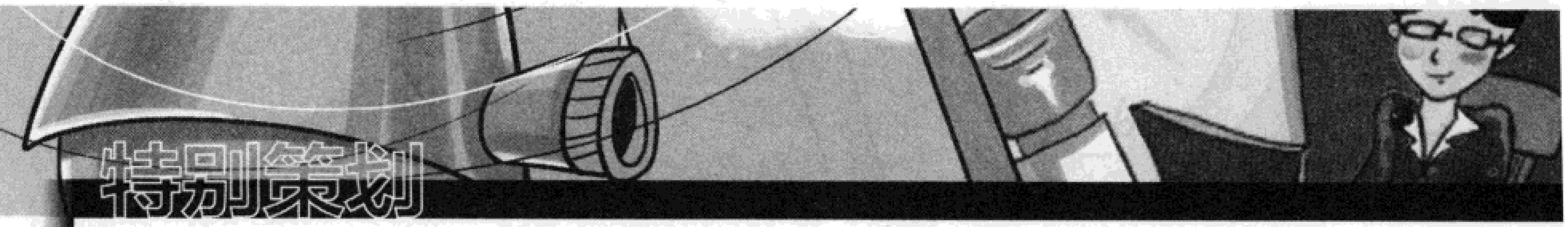


图12 我在Linux下编写的用于调试IHES Agent协议的客户端得到的数据图



实测数据分析与讨论

实际功耗分析

写到这里，该系统已经持续工作了两天半时间，虽然这两天上海都是晴好天气，不过也不妨来看看实际的功耗情况。当然，依据就是采集到的数据了。

图13所示的曲线记录了前一天19点到次日20点锂电池的工作情况，可以得到的结论有：

（1）夜间电池电压会降低 0.03~0.06V 左右。

（2）锂电池保护电路的过充模块发挥作用，电压在 4.27V 后就不再继续上升。

当然，因为电池原先就处于充满状态，所以目前还不能判断出白天的阳光是否能够将电池完全充满，不过看图中上升的曲线还是很有把握的。

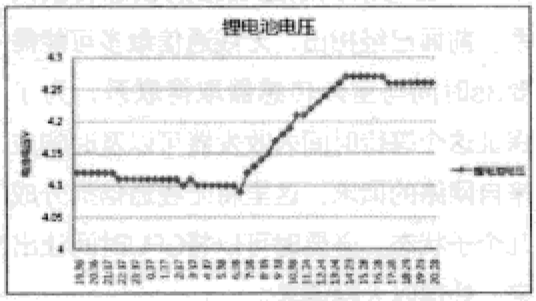


图13 采集到的锂电池电压数据

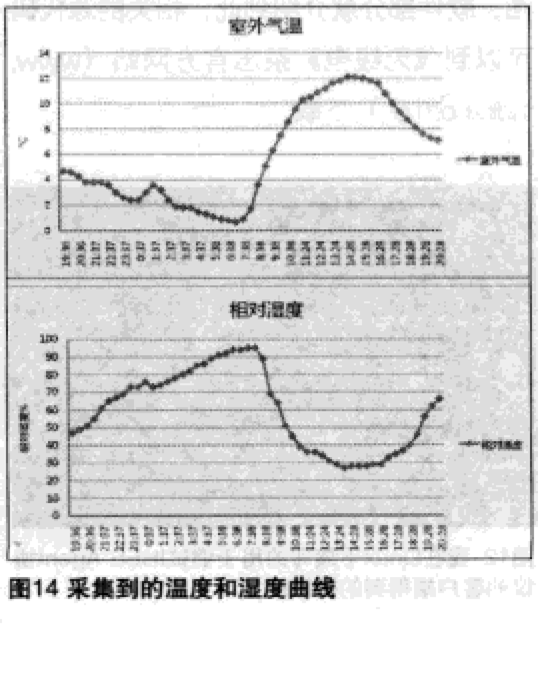


图14 采集到的温度和湿度曲线

温湿度曲线图

图14是采集到的温度和湿度曲线，由于比较直观，就不作分析了。

附表 主要元器件和价格

名称	价格
无线模块×2	18~30元
ENC18J60	50元
Atmega48Pa	8元
Atmega8L	8.5元
太阳能电池板×4	40元
锂电池和保护板	20元
壳体（小）	15元
壳体（大）	20元
DS18B20	4.5元
DHT11	9元

制作成本和用时

制作整个系统的成本还是很低廉的，附表中列出一些主要元器件的价格，其他的一些小元器件就不列出了，可以看出总成本在200元左右。

至于花费的时间，这个项目在1~2年前就开始酝酿，单算制作这篇文章中介绍的部分，大致花费了我一周时间。当然，如果把其中涉及的IHES中央服务器和构架、固件依赖的ArduinoLite库，RP infrastructure等的编写所花费的时间也算入，可能要用3~4个月左右，应该说还算是个短期的项目。

下一步工作和改进

目前这个系统虽然已经开始工作，

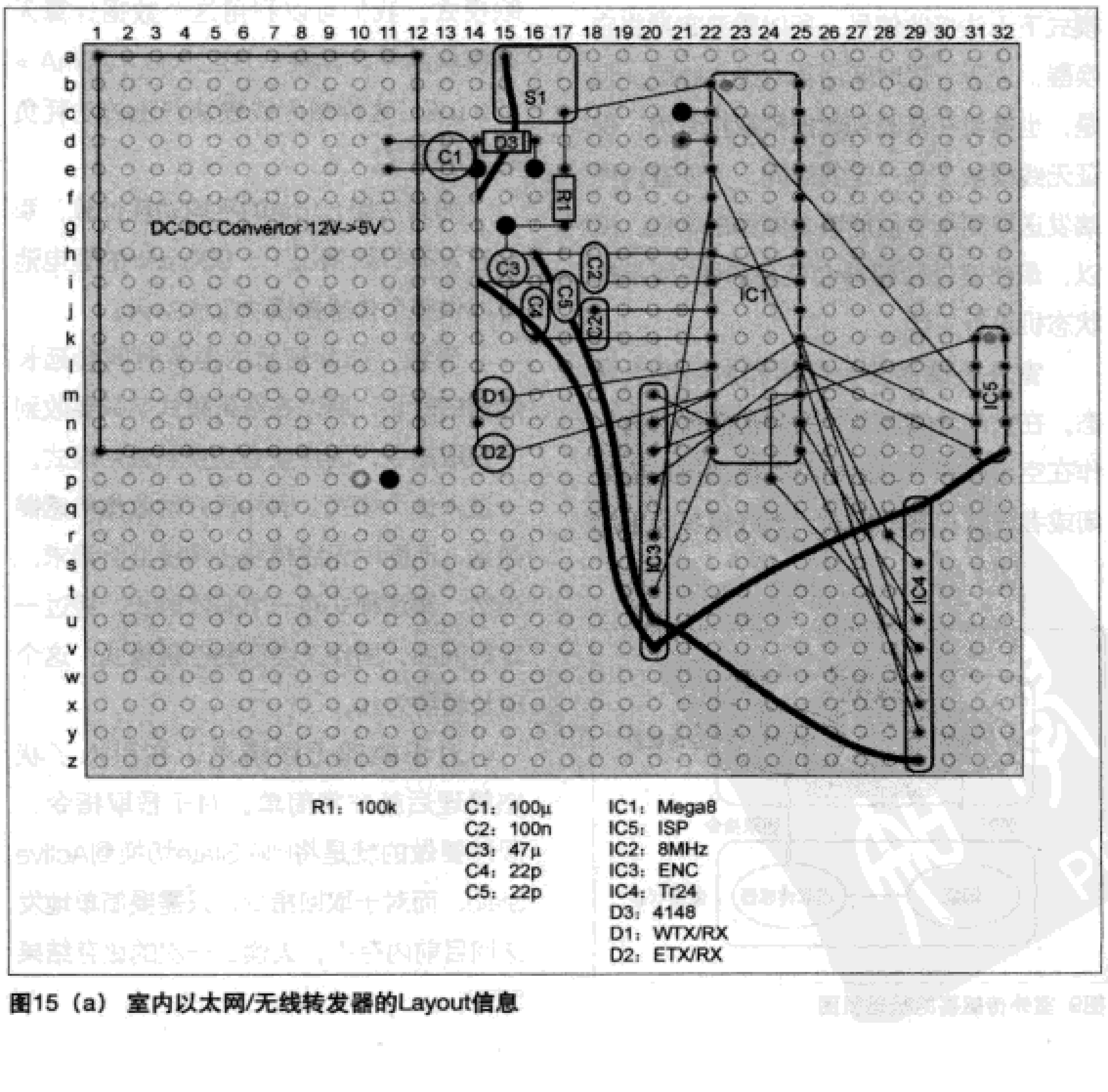
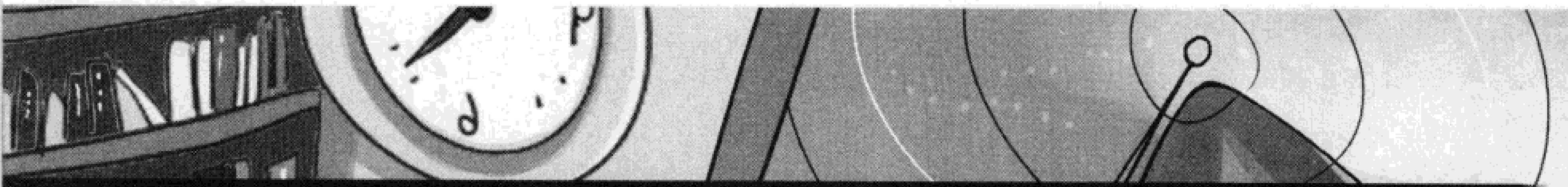


图15（a） 室内以太网/无线转发器的Layout信息



但是还需要进一步验证，除了功耗以外，是否防水也是一个需要关注的问题。

对于改进，从前面分析上已经可以看出，锂电池的过充是一个问题，解决办法可以是通过单片机监控锂电池电压，当达到过充标准后，就进入放电模式来抵消电压上升。

另外，无线模块也是可以改进的，可以选用314MHz的模块提高传输距离。

从功能上来说，下一步可以考虑安装气压、风向传感器。那样差不多真的能叫做气象站了（山寨的）。

相关源代码和仿制信息

我将提供室外传感控制器固件、室内无线/以太网收发器固件。不过需要说明的是，因为这些固件依赖了许多额外的库和框架，那些框架属于我正在进行的其他项目，而且还没有到发布阶段，所以暂时不提供，请谅解。

固件采用avr-gcc4.2（WinAVR-20090313）编写。其中采用了2011年第9期杂志介绍的Arduino-Lite AVR运行库。Arduino-Lite是我针对Arduino库进行优化改良后的增强库，提供类似的接口，但代码比原先可以缩减近1倍，执行效率提高10倍左右。

Tr24无线模块的驱动可以采用Alexander Yerezeyev编写的代码，也可以选用你喜欢的版本。

源代码下载地址：

（1）《无线电》杂志官方网站 www.radio.com.cn

（2）http://www.csksoft.net/data/ihes_osensor/outside_sensor_src_partial.zip

另外，这里也给出万用PCB的layout信息，见图15。

我并不是闲得没事做，还是那句话，有时候就是要逼着自己做点事情，否则可能什么都做不了。好了，很感谢各位看到这里，尤其感谢坚持全部看完的。

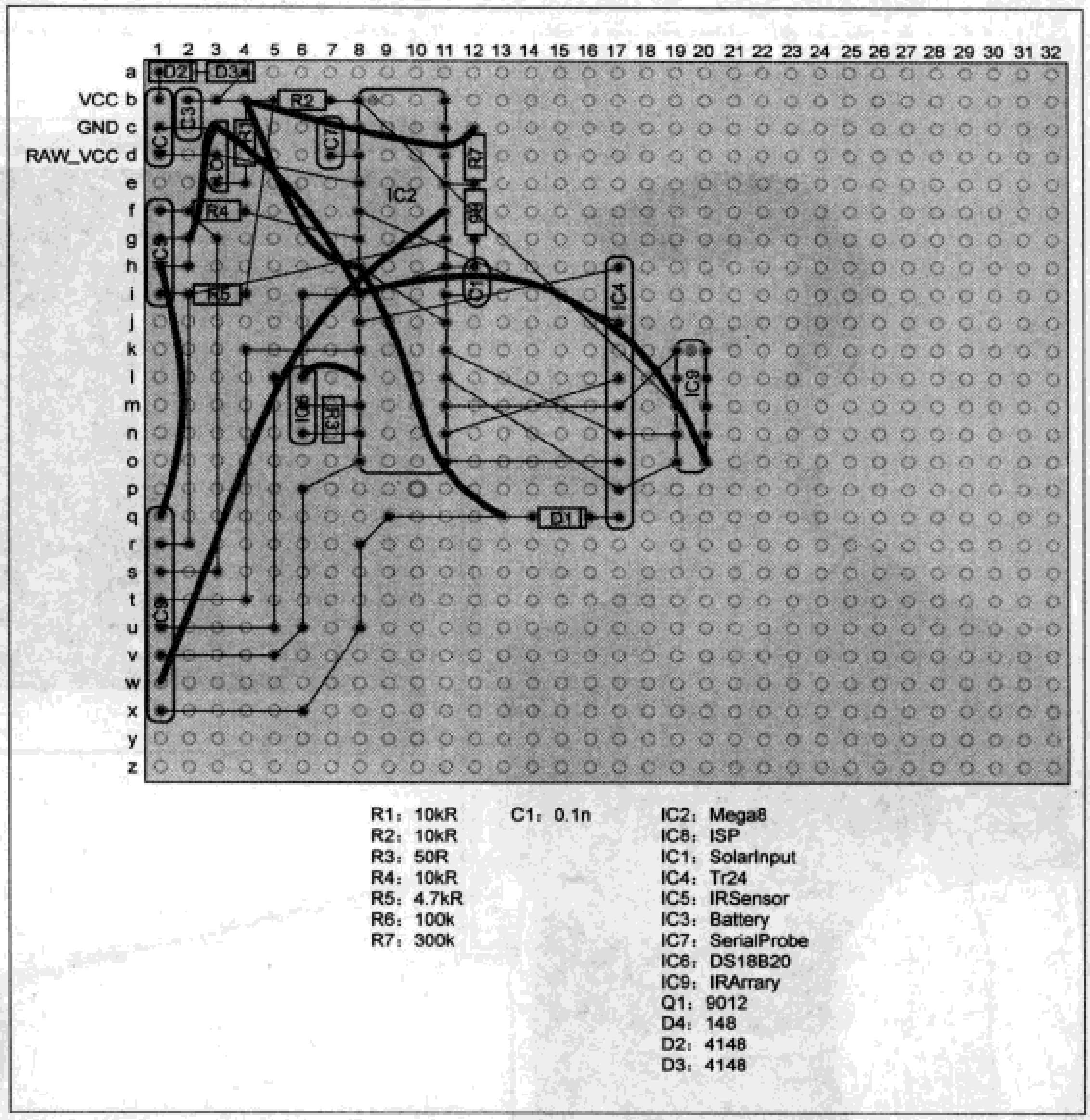


图15（b） 室外传感器的Layout信息

参考资料

1 基于AVR的TR24a驱动例程：spiriton-tr24a-demo，作者：Alexander Yerezeyev
http://code.google.com/p/spiriton-tr24a-demo/

2 An AVR microcontroller based Ethernet device，作者：Guido Socher
http://www.tuxgraphics.org/electronics/200606/article06061.shtml

3 Arduino-Lite Google Code repos，作者：陈士凯
http://code.google.com/p/arduino-lite/

4 Arduino-Lite简介，作者：陈士凯
http://www.csksoft.net/blog/post/255.html

5 IHES中的语音合成介绍，作者：陈士凯
http://www.csksoft.net/blog/post/linux_weatherforecast.html

6 EM198810 RF Transceiver
http://www.emc.com.tw/eng/com_prod_dsc.asp?gid=&tid=000001&tt=com_rfic_ds&nn=2.4GHz+RF+IC

7 DHT11 Humidity Sensor
http://www.aosong.com/Upload/PicFiles/20091121029421455.pdf

8 ENC28J60 Stand-alone Ethernet Controller with SPI
http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39662a.pdf

9 DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometerler
http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS18B20.pdf

10 Atmega48PA datasheet
http://atmel.nl/dyn/resources/prod_documents/doc8161.pdf

自制低成本激光3D扫描测距仪

◇陈士凯
◇插画：coela丸纸酱

本文将介绍我制作的激光3D扫描测距仪的相关原理和制作细节。后续文章还会介绍激光键盘的制作，它们的核心原理是相同的。

在开始介绍原理前，先给出一些扫描得到的3D模型以及演示视频，让大家有一个直观的认识。

激光扫描仪/雷达简介

这里所说的激光3D扫描测距仪实质上就是激光3D雷达。如视频中展现的那样，这种扫描测距仪可以获取各转角情况下目标物体扫描截面到扫描仪的距离，由于这类数据在可视化后看起来像是由很多小点组成的云团，因此常被称为“点云”（Point Cloud）。在获得扫描的点云后，便可以在计算机中重现扫描物体、场景的三维信息。

这类设备可以用于如下几个方面：机器人定位导航、零部件和物体的3D模型重建、地图测绘。

目前机器人的SLAM算法中最理想的设备仍旧是激光雷达（虽然目前可以使用Kinect，但它无法在室外使用，且精度相对较低）。机器人通过激光扫描得到的所处环境的2D/3D点云，从而可以进行诸如SLAM等定位算法，确定自身在环境当中的位置，同时创建出所处环境的地图。这也是我制作这款激光3D扫描测距仪的主要目的。

市场现状

目前市面上单点的激光测距仪已经比较常见，价格也相对低廉，但它只能测量目标上特定点的距离。当然，如果将这类测距仪安装在一个旋转平台上，旋转扫描一周，就变成了2D激光雷达（LIDAR）。相对于激光测距仪，市面上激光雷达的价格就要高许多。

图4所示为Hokuyo公司生产的2D激光雷达，这类产品的售价都在上万元的水平。其昂贵的原因之一在于它们往往采用了高速的光学振镜进行大角度范围（180°~270°）的激光扫描，并且测距使用了计算发射/反射激光束相位差的手段进行。当然它们的性能也是很强的，一般扫描的频率都在10Hz以上，精度也在几个毫米的级别。

2D激光雷达使用单束点状激光进行扫描，因此只能采集一个截面的距离信息。如果要测量3D的数据，就需要使用如下两种方式进行扩充：

（1）采用线状激光器。

（2）使用一个2D激光雷达扫描，同时在另一个轴进行旋转，从而扫描出3D信息。

第一种方式是改变激光器的输出模式，由原先的一个点变成一条线型光（如图5所示）。扫描仪通过测量这束线型光在待测目标物体上的反射，可以一次性获得一个扫描截面的数据。这样做的好处是扫描速度很快，精度也比较高。缺点是由于激光变成了一条线段，其亮度（强度）将随着距离增大而大幅衰减，因此测距范围很有限。对于近距离（<10m）的测距

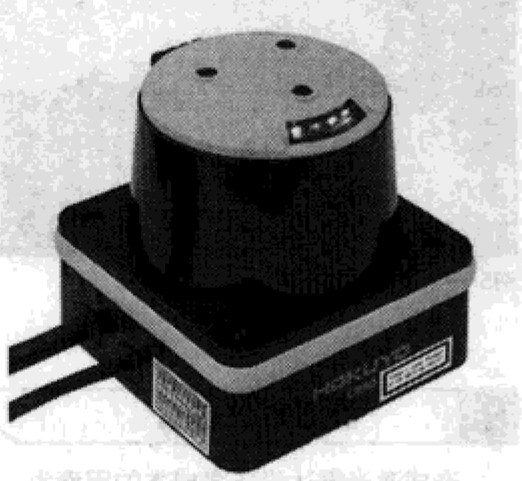


图4 Hokuyo 2D激光雷达

扫描而言，这种方式还是很有效并且极具性价比的，本文介绍的激光3D雷达也使用这种方式。

第二种方式的优点是很容易用2D激光雷达进行改造。相对第一种做法来说，它在相同的激光器输出功率下，扫描距离更远。当然，由于需要控制额外自由度的转轴，其误差可能会较大，同时扫描速度也略低。

这类激光雷达产品目前在各类实验室、工业应用场景中出现得比较多，对于个人爱好者来说，它们的价格实在是太高了。当然，目前也有了一个替代方案，那就是Kinect，不过它的成像分辨率和测距精度比激光雷达低了不少，而且无法在室外使用。

最终效果展示

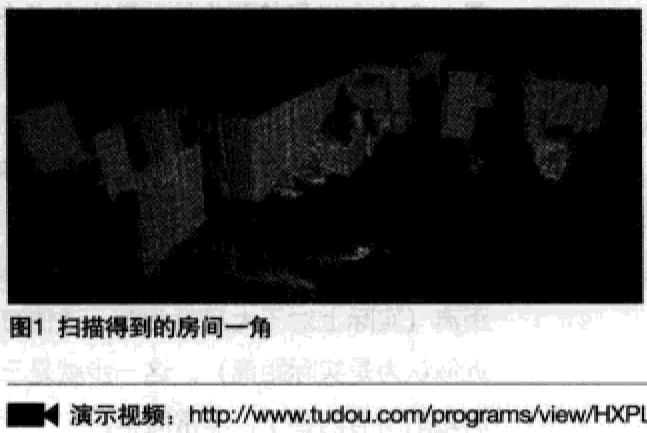


图1 扫描得到的房间一角

图2 扫描得到的作者正面、侧面半身像

图3 扫描仪实物

演示视频：http://www.tudou.com/programs/view/HXPLjJCpWi4/

图5 一字线红色激光器

低成本的方案

造成激光雷达设备高成本的因素为：

(1) 使用测量激光相位差/传播时间差的方式测距。

(2) 高速振镜的高成本。

(3) 矫正算法和矫正人工成本。

对于个人DIY而言，第三个因素可以排除，知识就是力量，在这里就能体现了。对于前两个因素，如果要实现和商品一样的精度和性能，成本恐怕是无法降低的。但是，如果我们对精度、性能的要求稍微降低，成本将可以大幅下降。

首先要明确的是，投入的物料成本与能达成的性能之间并非线性关系，当对性能要求下降到一定水平后，成本将大幅下降。对于第一个因素，可以使用本文将介绍的三角测距方式来进行。而对于扫描用振镜，则可以使用普通的电机机构驱动激光器来替代。

本文介绍的低成本激光3D扫描仪实现了如表1所示的性能。

对于精度而言，这个低成本方案足以超过Kinect，只是扫描速度比较慢，但是对于一般业余用途已经足够。不过，该扫描速度是很容易提升的，本文将在分析其制约因素后介绍提高扫描速度的方法。

表1 低成本激光3D扫描仪的性能

测量范围	最远6m
测量精度（测量距离与实际距离的误差）	最远6m处最大80mm误差，近距离（<1m）时误差在5mm以内
扫描范围	0°~180°
扫描速度	30 samples/s（比如以1°角度增量扫描180°，耗时6s）
最小步进	0.3°
扫描分辨率	480点/sample
成本	150元

原理和算法

这里先介绍测量目标上一个点所涉及的算法，3D扫描将采用类似的方式进行扩充。

使用单点激光进行三角测距

除了使用相位差和时间差进行TOF测距外，另一种测距方式就是三角测距。这也是实现低成本激光测距的关键，因为这种方式不需要具备其他测距方式所要求的特殊硬件。并且，在一定距离范围内，三角测距也可以达到与TOF测距相媲美的测量精度和分辨率。

目前有不少爱好者基于激光三角测距制作了激光雷达或者测距仪，本制作也采用了这个方式。

要进行激光三角测距，所需的设备很简单——点状激光器、摄像头，其成本大家应该比较清楚。

图6中，被测量对象Object距离激光器的距离为d。图中的Imager是对摄像头的一种抽象表达（针孔摄像机模型）。标有s的线段实际可以是一个固定摄像头和激光器的平面。摄像头成像平面与该固定平面平行，而激光器发出的射线与该平面的夹角β仅存在于图中的视图中。

要测量距离d，首先要求激光射线射到Object上，它的反射光在摄像头的感光平面上成像。对于不同远近的物体，当被测距激光照射后，摄像头上成像光点的x值将变化。这里涉及如下几个参数：

β：激光器夹角

s：激光器中心与摄像头中心点距离

f：摄像头的焦距

如果这些参数在测距设备安装后不再改变（固定）且数值已知，则物体距离激光器距离可由如下公式求得：

$$q=fs/x \quad \cdots\cdots (1)$$

$$d=q/\sin(\beta) \quad \cdots\cdots (2)$$

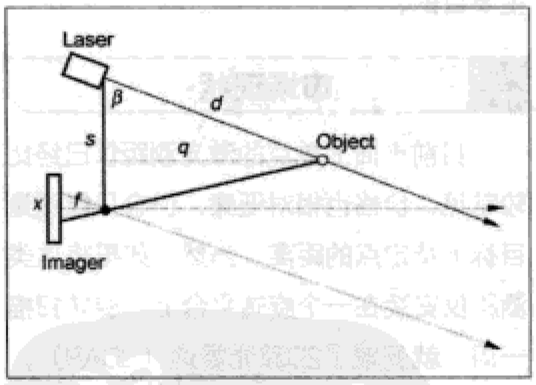


图6 激光三角测距的原理

其中，x是测量中唯一需要获得的变量。它的含义是待测物体上激光光点在摄像头感光元件（如CMOS）上的成像到一侧边缘的距离。该距离可以通过在摄像头画面中查找并计算激光点中心位置的像素坐标来求得。对于示意图，式（1）求出了目标物体与摄像头-激光器平面的垂直距离（实际上对于大尺度测距，该值可以近似认为是实际距离）。这一步就是三角测距的所有内容了，非常简单。

不过，在实际操作中，上述公式仍旧需要扩充。首先是对于变量x的求解，假设我们已经通过算法求出了画面中激光光点的像素坐标（px,py），要求出公式中需要的x，首先需要将像素单位的坐标变换到实际的距离值。为了计算方便，在安装时，可以令摄像头画面的一个坐标轴与上图线段s平行，这样做的好处是我们只需要通过光点像素坐标中的一个参量（px或者py）来求出实际投影距离x。这里假设我们只用到了px，那么变量x可以用如下公式计算：

x=PixelSize*px+offset …… (3)

式（3）又引入了两个参数——PixelSize以及offset。其中PixelSize是摄像头感光部件上单个像素感光单元的尺寸，可以通过摄像头感光元件手册来确定其数值，offset是通过像素点计算的投影距离和实际投影距离x的偏差量。这个偏差量是由如下两个因素引入的：

(1) x变量的原点（示意图中与激光射线平行的虚线和成像平面焦点）的位置未必在成像感光阵列的第一列（或排）上(实际上在第一排的概率非常低)。

(2) 通过摄像头主光轴的光线在画面中的像素坐标未必是画面中点。

对于offset，要在安装上消除offset或者直接测量，在业余条件下几乎是不可能的，因此需要通过后面介绍的矫正步骤求出。

到这里，我们得出了通过激光点像素坐标(px)来求出对应光点实际距离的公式：

d=fs/（PixelSize*px+offset）/sin（β） …… (4)

接下来的问题就是如何确定这些参数了。不过，实际操作中，还需要考虑性能指标问题：要达到某种精度要求，究竟需要怎样的摄像头，上述各类参数如何选择呢？

决定单点激光测距性能的因素

由公式（3）可知，参数px是一个离散量（也有算法可以求出连续的px，后文将介绍），因此，得到的距离数值也将会发生一定的跳变。跳变的程度反映了测距的分辨率以及精度。

如果将式（1）改写为$x=fs/q$，并按q进行求导，可以得出：

$dq/dx=-q$^2/fs …… (5)

式（5）的含义是，变量x每发生一次跳变，通过我们三角测距公式求出的距离值q跳变大小与当前实际待测距离的关系。可以看出，当待测距离变远后，从摄像机获得的像素点每移动一个单位距离，求出的距离值的跳变就会大幅增大。也就是说：三角测距的精度和分辨率均随着距离增加而变差。

因此，要决定我们希望实现的指标，只需要明确希望测距的最大距离，以及在最大距离下分辨率（dq/dx）的数值。

这里直接给出一个结论，具体过程就不讲了：假设对于激光光点定位能做到0.1个次像素单位，单位像素尺寸为6μm，并要求在6m处分辨率（dq/dx）≤30mm，则要求fs≥700。

在我们的制作过程中，这个要求还是很容易满足的。另外目前的CMOS摄像头往往具有更小的单位像素尺寸（在同样大小的芯片上做出了更高的分辨率），因此实际fs的取值下限可以更低。

而摄像头分辨率、激光器夹角β，则决定了测距的范围（最近/最远距离）。对于使用px进行测距的摄像头，其分辨率有640×480即可做出比较好的效果，有更高的分辨率更好（当然后文会提到缺点）。β一般在83° 左右。

2D激光雷达的原理和性能制约因素

在实现了单点激光测距后，进行2D激光扫描将非常容易——只需进行旋转就可以了，这里主要讨论的它的性能（扫描速度）问题。

图7 本制作早期使用的红色一字线激光器的工作画面

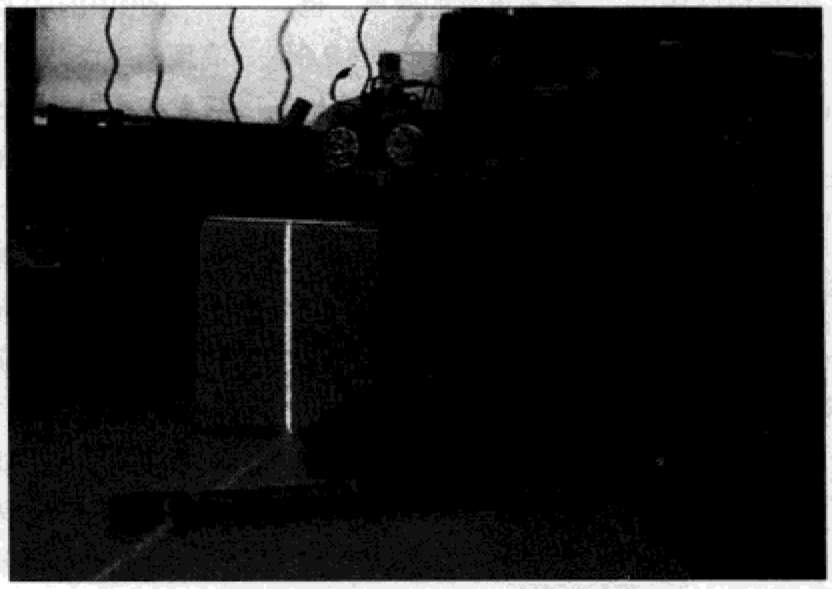


图8 采用红色一字线激光器捕捉到的画面

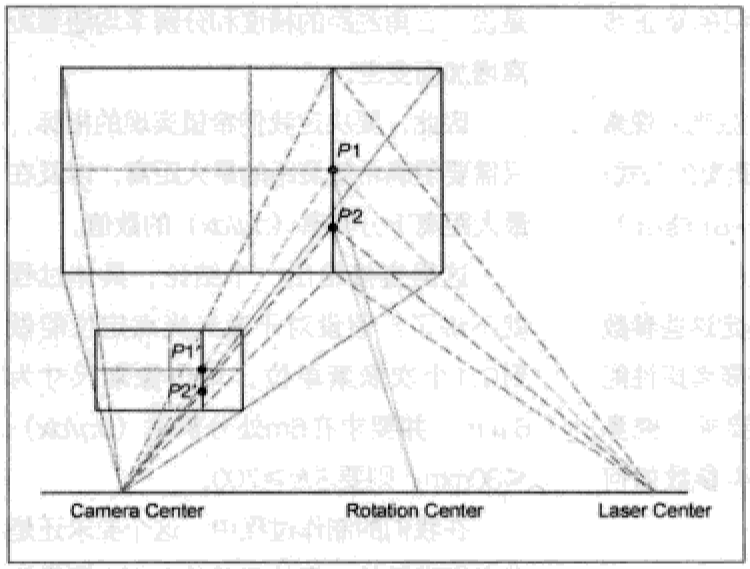


图9 激光线条光斑在平行平面上各点的距离问题抽象

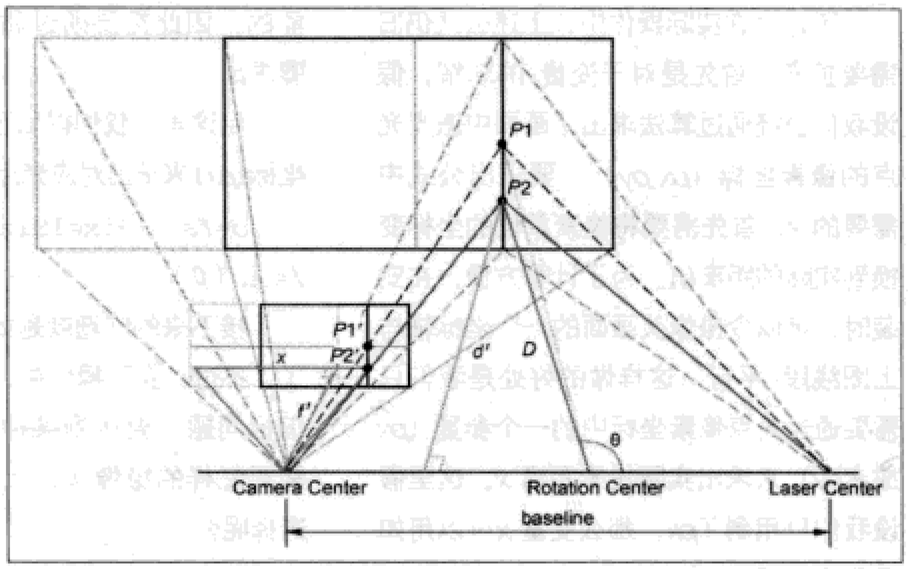


图10 3D测距的原理

采用三角测距的方式，从摄像头画面上识别出激光点，到计算出实际距离，对于目前的桌面计算机而言，几乎可以认为不需要时间。那么，制约扫描速度的因素就在于摄像头的帧率了。对于目前市面常见的USB摄像头，其工作在640×480分辨率的模式下，最高帧率都在30帧/s，那么扫描速度就是30samples/s。换言之，就是每秒钟进行30次的测距计算。

对于一个180°范围的激光雷达，如果按照每1°进行一次测距计算，最短需要6s。

如果要提高扫描速度，很自然的就是提高帧率。对于USB摄像头，有PS eye摄像头可以做到60帧/s。但这也只能实现3s扫描180°。需要更高的速率，也就意味着更快的传输速度，对于USB 2.0而言，保证640×480的分辨率，帧率很难有所提升。有人采用了高速摄像芯片+DSP的方式实现了1200帧/s的帧率。

由于本制作不需要很高的扫描速度，因此我仍旧采用了30帧/s的摄像头。

3D激光扫描的原理

这里采用了线状激光器，一次对一条线而非单点进行扫描测距。将扫描器进行旋转，从而可以实现3D扫描。图7和图8分别展示了它的工作画面和捕获到的摄像头画面。

对于线状激光器进行测距的问题，可以将它转化为前面单点激光测距的计算问题。对于上图中的激光线条，算法将按照*Y*轴依次计算出当前*Y*轴高度下，激光光斑的*X*坐标值*px*，并尝试通过先前的算法求出该点的距离。

为了简化问题，我们先考虑对于一个与摄像头感光面平行的平面上激光光斑各点的距离问题。

如图9所示，远处平面为目标待测平面，上面有一条紫色的激光光斑。近处的平面是摄像头的感光成像平面，经过了翻折后，它可以看作是目标平面到摄像头成像中心点组成的棱锥的一个截面。

图9中的*P*1点位于摄像头投影画面高度的中点，按照针孔摄像机的定义，该点在画面上的投影*P*1'距离摄像头中心Camera Center的距离应当为摄像头的焦距F。因此，对于*P*1，可以直接带入式（4）求出实际距离。

现在的问题是，对于其他高度上的点，如*P*2，是否可以通过式（4）求得？

答案自然是肯定的，不过这里涉及了额外的参数。如图10所示，设*P*2的投影点*P*2'到摄像头中心距离为*f*'，则*P*2到baseline的垂线距离*d*'可由如下公式得到：

$d'=f'*baseline/x$ ……（6）

很容易知道，*f*'可以通过*f*求出：

$f'=f/\cos(\arctan((P2'*y-P1'*y)/f))$ ……（7）

其中的*P*2'*y以及*P*1'*y分别是点*P*2'、*P*1'在成像元件上的实际高度，它们可由各自点像素坐标*py*乘以像素高度求出。

在求出了垂线距离*d*'后，需要转化成实际的距离*D*，此时需要知道*P*2-RotationCenter以及Baseline组成的夹角θ。该角度可以根据立体几何知识，通过激光器与Baseline的夹角β求出。具体的求解公式可以参考本制作配套源代码的计算部分。

在求出了平行平面上激光光斑任意点的坐标后，可以将问题一般化。对于3D空间任意激光投影点，可以先构造出该点所在的一个平行平面，然后利用上述算法求解。

对于每次测距采样，上述算法将产生一个数组dist[*n*]。其中dist[*i*]为对应画面不同高度像素坐标*i*下激光点的距离。对于640×480分辨率的摄像头，*n*的取值为480。

如果进行180°，步进为1°的3D扫描，则可得到分辨率为180×480的点云阵列。如果采用0.3°步进，则得到600×480的点云阵列。

激光光点像素坐标确定和求解

接下来讨论如何从摄像头画面中计算出光点的坐标信息，具体来说，要解决如下两个问题：

（1）识别并确定激光光点，排除干扰。

（2）确定光点中心的精确位置。

问题（1）看似简单，实际上却会有很多问题，比如图11所示的几幅实际操作中遇到的画面。

图11中的3幅图像是在使用红色激光器时摄像头所拍摄到的。（a）的图像比较理想，在画面中除了激光光点外没有别的内容，虽然可以看到上方有光点反射发出的干扰点，但激光光点仍旧可以通过求出画面中最亮点的方式获取。

（b）画面中出现了日光灯，由于日光灯亮度也较高，从画面上看，与激光点中心亮度一致（均为纯白）。对于这个图像，有种办法是同时判断临近像素的色彩，红色激光点的外围均为红色。

（c）画面中，除激光点外，还出现了其他的红色物体，并且部分高光区域也在图像中表现为纯白，此时，上述通过色彩判断的算法也将失效。因此需要有另外的办法。

完美的激光提取算法几乎是不存在的，一个例子就是当画面中出现了2个类似的激光点（另一个来自别的测距仪或者激光笔），此时单从一副图像上很难判断出哪个才是正确的光点。

再来看问题（2），较准确地识别光点也需要借助硬件设备以及光学设备的合作，具体的细节超过了本文的范畴，这里仅列举几种可行的办法。

1. 加装滤光片

使用滤光片，仅保留激光器发射波长的光线进入，从而可以在一定程度上避免光线干扰。

2. 调整摄像头曝光时间

调整摄像头曝光时间也可以有效去除画面的干扰，例如图11（b）和（c），对于5mW的激光器，在一定距离内，其单位光照强度仍旧比日光强（人眼可以在室外识别出激光笔照射在地面的光点），因此，只要将摄像头的曝光时间调整得足够短，完全有可能将画面中除了激光点之外的内容剔除。

3. 采用非可见光激光器

例如使用红外激光器，这个做法与遥控器使用红外LED的理由一样，在人造环境中，少有红外光干扰。配合红外滤光片，可以有效滤除来自诸如日光灯等的干扰。但是，日光和白炽灯光也含有足够强的红外光，无法单纯采用此法。

4. 增加激光器功率

配合曝光时间控制，增加激光器发射功率也足以使得画面中仅保留光点，但这样也有危险性，尤其采用点状激光时。

本制作采用了上述的所有方法，将在后文具体介绍。

对于问题2，最简单的做法是直接找出光点中最亮的像素的坐标。但是由前面的公式可知，这样得到的px值是整数，计算得到的q将会有比较大的跳变。因此这里介绍如何将px变为更加精确的“次像素”级别。

对于这个问题，学术界已有不少的研究，简单来说，可以认为激光光点的亮度是一个二维的Gauss函数经过了一次采样得到了画面上的激光点。那么，可以通过拟合或者简单的线性插值/求质心的手段，估计出光点的中心。本制作使用了简单的质心法求取次像素的激光中心点。

可能有人会问，这样的估算精确有效吗？一般而言，精确到0.1个像素单位是比较可靠的，也有文献指出它们做到了0.01个像素的可靠定位。

线状激光器的求解过程与点状激光类似，区别在于将按照图像的每行（或者每列）分别找出激光光斑的中心。

摄像头校正

进行激光测距的基本原理非常简单，在实现中却有很多制约因素。除了前文提到的进行三角测距求解公式中的那些参数需要确定之外，校正摄像头从而得到理想的针孔摄像机模型下的图像也是很重要的环节。首先要回答的一个问题是：为何要校正摄像头？校正什么参数？

校正的主要理由是，目前使用的摄像头并非是前文所提到的针孔摄像机模型。所谓针孔摄像机，简单说，原理就和小孔

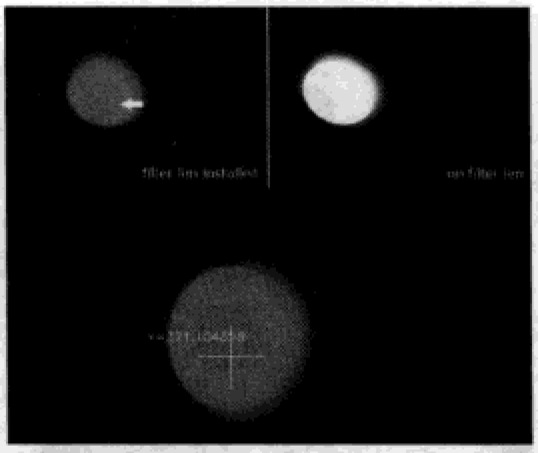


图12 采用滤光片后，从白色日光灯画面（右上图）中识别并计算出激光光点中心坐标

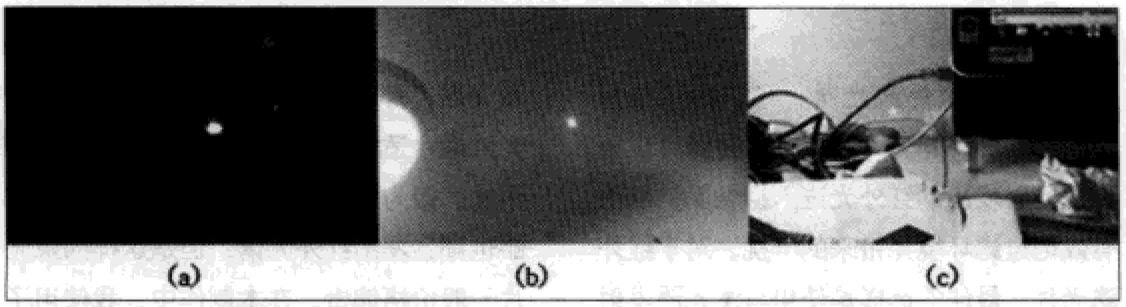


图11 不同环境和配置下摄像头捕获的画面

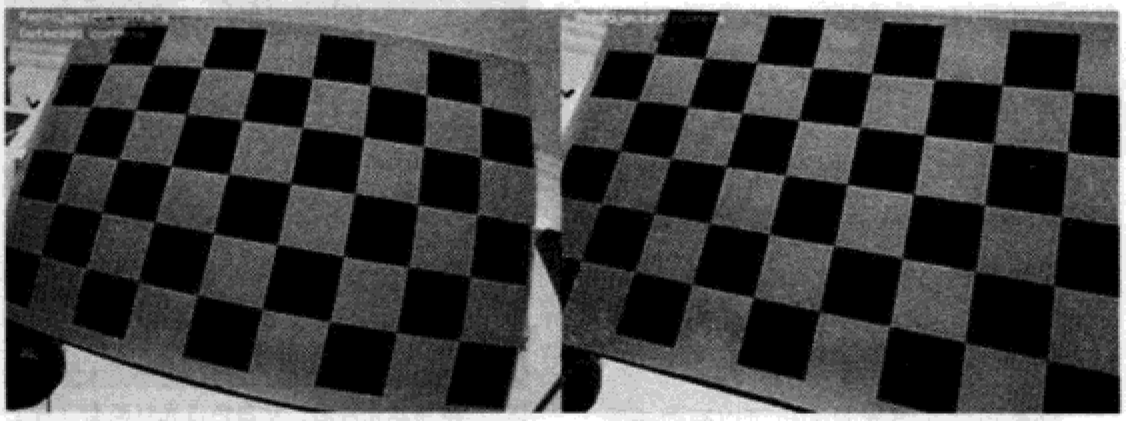


图13 摄像头原始画面和经过校正后的修正画面

成像类似：光线通过一个小孔后，在背后的感光元件上成像。但大家知道，现实的摄像头都是采用光学透镜聚光成像的，并且所用的透镜并非是抛物面的（很难加工），同时，感光芯片和透镜之间也非严格平行。总之，现实就是，产生的画面实际上存在扭曲和偏移。如果直接使用摄像头拍摄的原始画面进行测距，势必会造成误差，因此需要进行校正。通过校正，获取消除上述画面扭曲和偏移的图像，再用来进行激光测距的相关操作。

图13左侧是一种摄像头拍摄到的原始画面，可以明显看出图像存在着扭曲，对它进行校正后，我们可以修正扭曲的画面，得到右侧的效果。

摄像头校正的具体原理、算法和过程超过了本文的介绍范围，有兴趣的读者可以参考其他相关文献。在本文后续的制作部分，也会介绍本次制作的校正过程和结果。

校正和求解三角测距所用参数

前文介绍的三角测距公式中涉及了如下的参数：

β：激光器夹角

s：激光器中心与摄像头中心点距离

f：摄像头的焦距

PixelSize：感光元件单位像素尺寸

offset：激光点成像位置补偿值

这些参数有些很难通过实际测量求出，有些很难在安装时就控制好精度，数值的精确度会对测距精度有着非常大的影响。例如 PixelSize 一般都是微米级别的数值，很小的误差即可导致最终测距的偏差。

对于它们的求解，我们将在测距仪制作完成后进行的校正环节中求出。这里的校正，实际过程是在实现测量好的距离下采集出测距公式中用到的px数值，然后通过曲线拟合的方式确定参数。

设备设计

核心元件原型

前文已经大致提到了本次制作的核心元件——摄像头、激光器以及进行扫描的伺服电机的选型要求。

对于我所期望的精度和性能，一般市面常见的USB VGA摄像头即可满足要求。

对于激光器的选择，主要是考虑它的发射波长和功率。由于我的制作不用像产品那样考虑激光器功率安全问题，因此采用了200mW的红外一字线激光器。较大功率的优势是可以通过缩短摄像机曝光时间，从而从画面上过滤环境光的干扰，同时也可以扫描较远的距离。当然，200mW的功率的确有点太大了，并且红外激光器肉眼不可见，所以在使用时需要额外当心，千万要注意不能用眼睛直视。

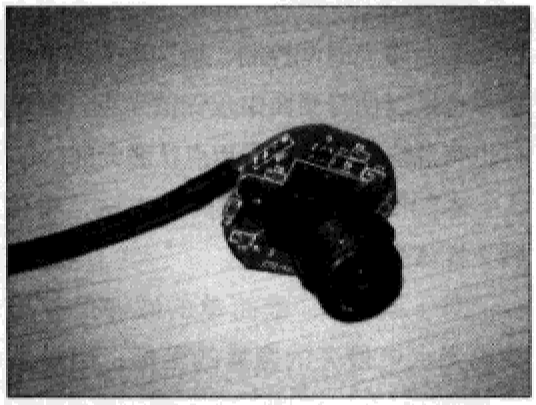


图14 本制作使用的USB摄像头（已经拆除外壳）

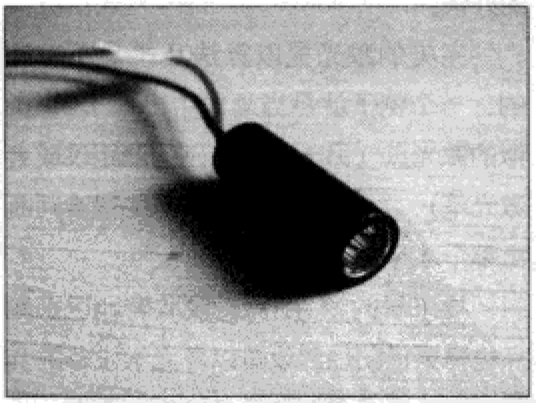


图15 制作所使用的红外一字线激光器

使用了红外激光器，可以通过给摄像头加装红外滤光片将可见光过滤，仅允许激光器发出的红外光进入摄像头，从而有效地过滤环境光带来的干扰。对于红外滤光片，最佳的选择是使用与激光器发射波长相匹配的滤光片，比如使用808nm的激光器，那么滤光片选择808nm的窄带滤光片最合适，这样做可以最大程度地降低干扰。因为现实中，日光、白炽灯、遥控器也都会发出红外光谱。但是这样的滤光片一般价格偏贵。在本制作中，我使用了800nm截止的低通滤光片。它允许任何波

长小于800nm的红外光通过，实际效果还是不错的。

对于用于扫描的伺服电机，由于摄像头的帧率是30帧/s。扫描速度不需要很快，因此这里使用了普通的标准舵机。它的优势是可以直接控制定位到特定角度，驱动也相对容易。不过它的精度不高，对于0.3°的角度定位已经有些吃力了。这也是值得改进的地方。

安装考虑

这里主要针对几个参数的选择，决定激光器、摄像头的安装方式。前面提到了摄像头焦距f和摄像头到激光器距离s的乘积fs应当满足$fs \geq 700$。

一般市面上USB非广角镜头的摄像头的焦距在4.5mm左右，因此，s一般选择160mm左右。也就是说，摄像头和激光器的间距在160mm或以上。当然，如果觉得这间距太大了，也可以稍微缩小，正如前面提到的，目前摄像头的像素尺寸一般都比较小。

另外一个在安装中要考虑的参数是激光器夹角β，它的值在83°左右。安装的时候不必也不能死板地测量角度并安装，这是因为除非使用了工业精工级别的激光器，否则激光器发出的激光射线也存在夹角。

β角度可以在安装完成后进行多次修正，保证在较远处，画面中仍然可以看到激光轨迹时，再进行固定。

表2　核心元件参数

摄像头	VGA画质的USB摄像头，30帧/s，非广角（市面普遍可以购买的型号）
激光器	50mW红外一字线激光，808nm
滤光片	10mm直径红外低通滤光片
舵机	HS-322hd 43g标准舵机

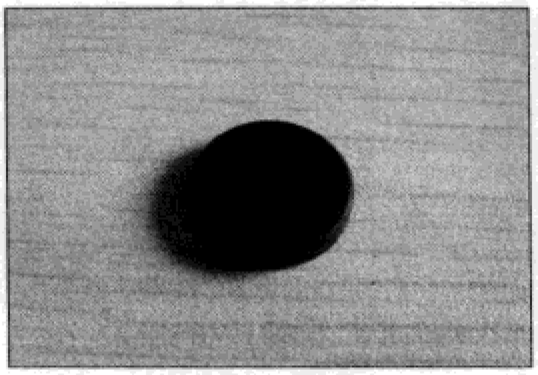


图16 本制作采用的低通红外光滤光片

图17 本制作选用的舵机

机械和结构部分

对摄像头的改装

由于我们使用了红外激光器，因此需要对摄像头做一些修改。

首先要移除摄像头镜片中的红外截止滤光片。该滤光片的作用与前文提到的红外滤光片的功能恰好相反——它将红外光谱过滤。一般摄像头内都会含有这种滤光片，如果不移除，则只能够感受到很微弱的红外信号。说句题外话，可以用拆除截止滤光片的摄像头观察Kinect投射出来的红外图案。

其次就是将前面提到的红外低通/带通滤光片安装到摄像头中，如图19所示，这里采用比较山寨的组装方式：用胶布将它固定在镜头前面，其效果也可以接受。

制作激光器、摄像头的固定平台

这里使用了轻质的木板来安装摄像头和激光器，选择它的主要原因是容易加工。如果有条件，可以考虑使用热胀冷缩率小的金属或者塑料材料来固定。

在木板上打孔，保证激光器和摄像头能正好装入，2个孔之间的距离是前文提到的160mm左右。不过不必很精确，因为它的精确数值可以通过校正得到，这样安装的时候就比较省心。在给激光器打孔的时候要注意角度的问题。

图18 位于摄像头镜头中的红外截止滤光片

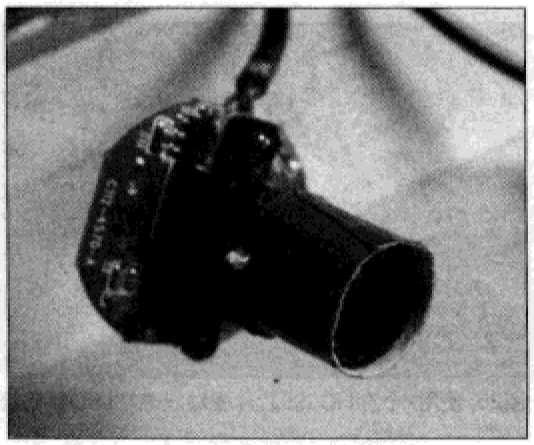


图19 将红外低通滤光片安装在摄像头上

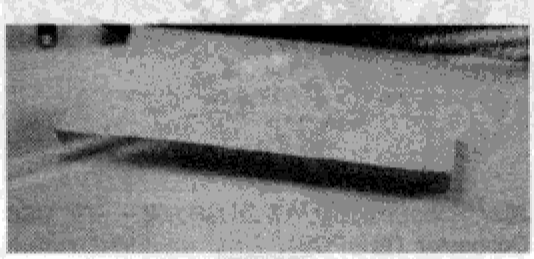


图20 使用木板作为固定摄像头、激光器的材料

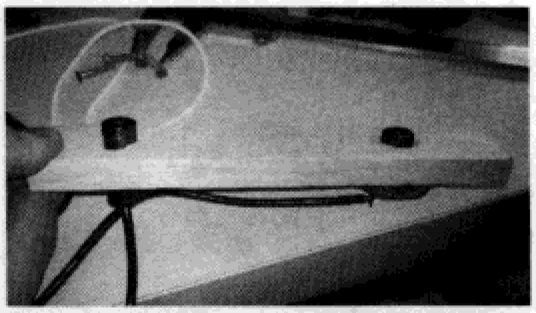


图21 木板打孔后，将摄像头和激光器装入

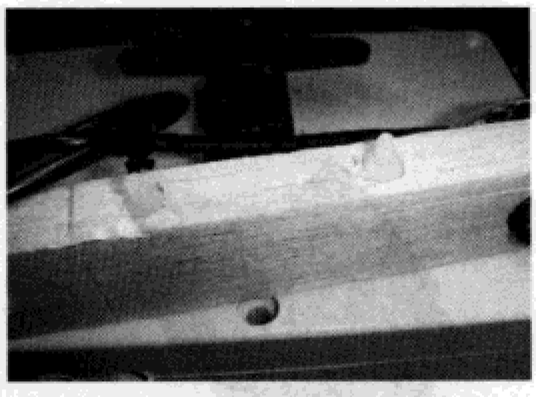


图22 在木板底部打孔，安装螺丝柱，用于固定到舵机转盘上

底座和舵机安装

1 我用了用于安装仪器的塑料盒子作为扫描仪的底座，这类盒子可以在网上找到。

图23

2 将盒子顶板开孔，使得舵机能够放进去。

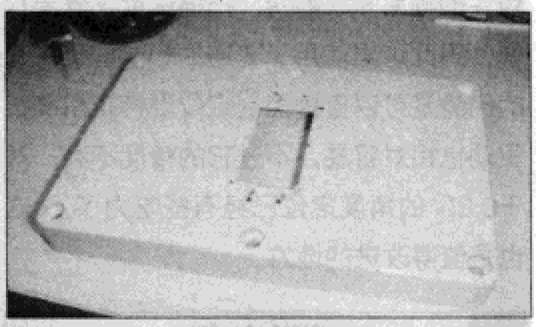


图24

3 将舵机嵌入盒子顶板。

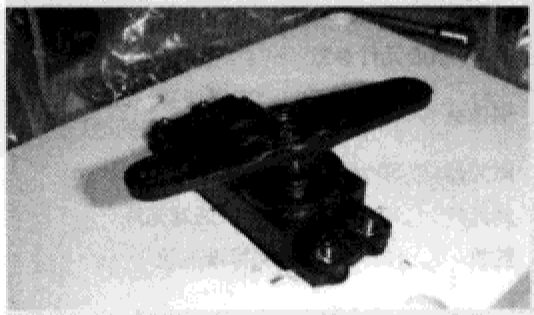


图25

4 最后将之前的摄像头固定支架安装到舵机上。

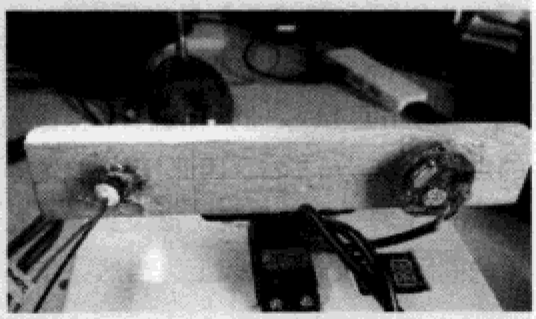


图26

电子系统的制作

这里的电子系统，主要功能是从PC接收指令，并控制舵机转到指定角度。由于摄像头已经是USB接口的，所以这里的电子系统不用去处理摄像头的信号。

目前PC外设使用USB接口几乎已经成为了一种标准，为了使得设备使用尽可能方便，如果能做到免驱动，就更加完美了。这里我采用了RoboPeak机器人团队设计的一款AVR开源控制板——RoboPeak USB Connector（具体制作方法见2011年第11期《无线电》杂志）来实现这部分功能。它使用单片AVR（ATmega88）芯片通过软件方式模拟出USB协议栈，并且使用了HID协议，因而无需在PC上安装驱动程序。这部分的细节属于固件实现部分，将在后文提到。

这里列出本制作中电子系统所实现的功能：

实现了一个HID（Human Input Device）类的USB设备，无需第三方驱动程序支持。

支持通过USB接口接收指令，控制舵机运转到指定角度。

可通过USB指令开启、关闭激光器。

通过一个双米字LED显示屏，显示舵机当前的角度。

支持用户通过设备上的按钮手工设置舵机角度。

USB设备的实现、接收处理USB指令等，属于固件范畴的职责，这里将不作讨论，RP USB Connector的固件已经支持了此部分的基础操作。

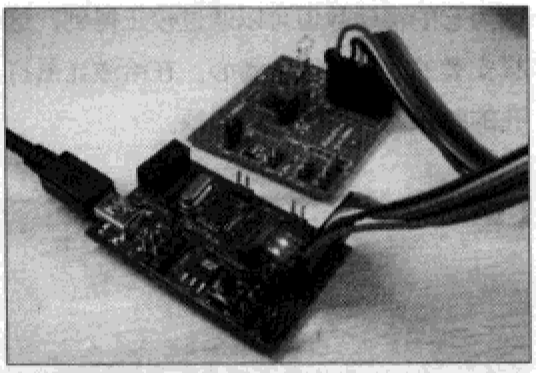


图27 RoboPeak团队的开源USB方案——RP USB Connector（蓝色PCB）

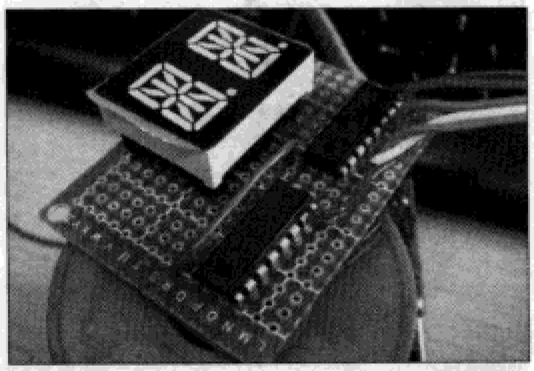


图28 使用2个74HC595芯片驱动双米字LED数码管

米字LED数码管的驱动

由于2个米字形LED含有多个独立的LED，需要分别独立控制，而RP USB Connector上并没有如此多空闲I/O口，这里的做法是很传统的，采用74HC595串行转并行输出芯片，RP USB Connector上通过SPI总线进行控制。

扩充RP USB Connector

由于RP USB Connector的主要功能是作为AVR芯片编程器和通用USB开发板的，上面并没有舵机控制和激光器控制功能（需要三极管扩流），因此需要做一块额外的电路扩充它的功能。该电路比较简单，这里不作介绍，可以参考如图30所示的电路图。

制作角度手工控制面板

这部分做得比较粗糙，主要就是在塑料盒子外加装按钮，如图 31、图 32 所示。

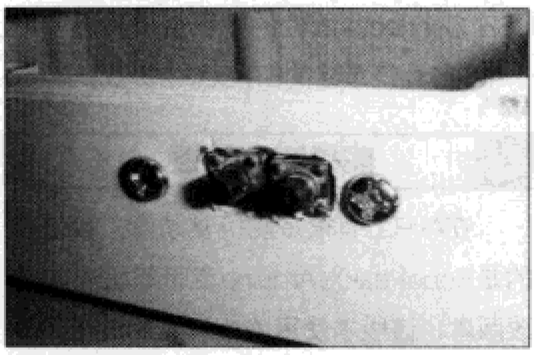


图31 按钮（正面）

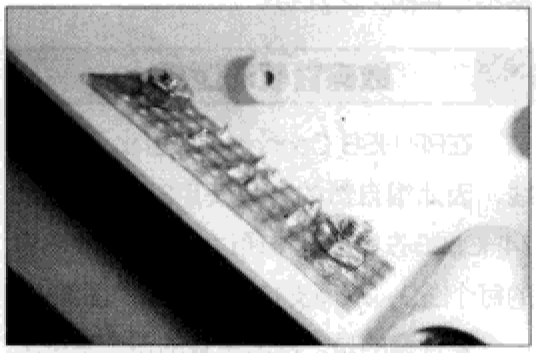


图32 按钮（背面）

总装

最后将所有线路连接起来，并关闭盒子，设备的安装就大功告成，如图 33 所示。

图33

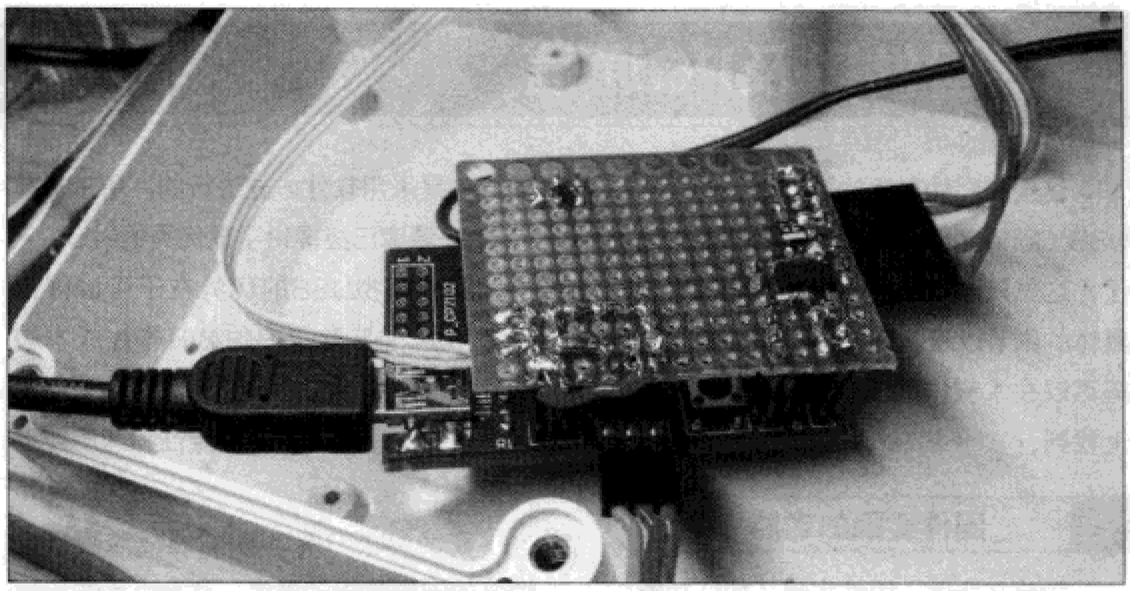


图29 在RP USB Connector的基础上做扩充电路

RoboPeak USB Connector的电路图请参考2011年第11期《无线电》杂志，
或访问：http://code.google.com/p/rp-usb-connector/

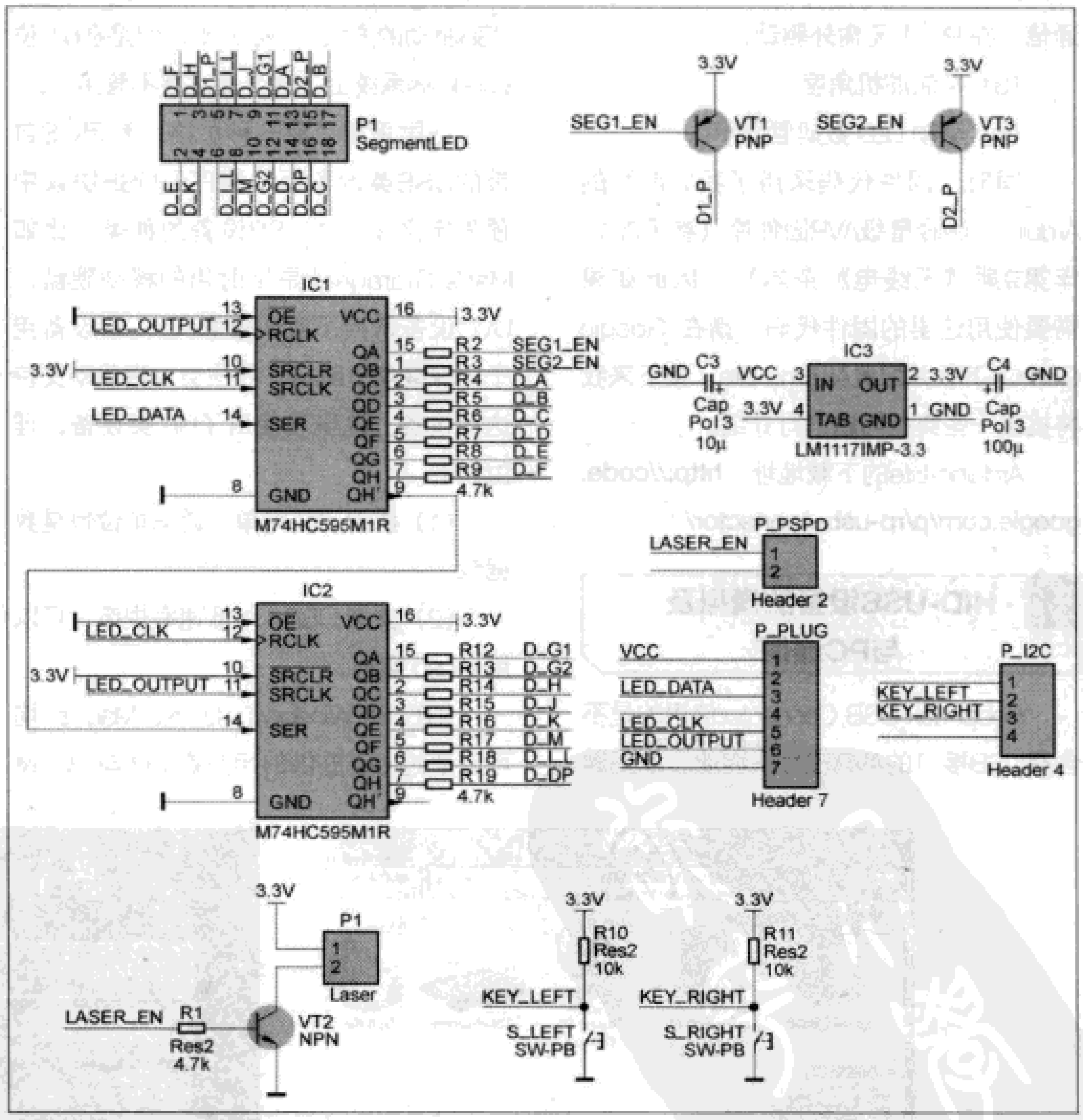


图30 扩充电路/LED驱动电路原理图

本制作的所有源代码和电路图托管于Google code，
请访问如下地址下载：http://code.google.com/p/rp-3d- scanner

演示视频：http://www.tudou.com/programs/view/EB_ValjklCo/

固件以及PC通信

这里的固件自然就是运行在RoboPeak USB Connector AVR芯片上的固件代码了，这里只大致列出实现的思路和原理，具体的细节以及基础知识不作介绍。源代码可以在本制作的Google Code项目页面上找到。

固件实现的功能

如前文所述，固件实现了如下功能：

（1）通过软件方式模拟出 USB 1.1 协议栈（使用了 V-usb 库）。

（2）实现了 HID 类的 USB 设备进行通信，在 PC 上无需外驱动。

（3）控制舵机角度。

（4）驱动 LED 数码管显示。

同时，固件代码采用了我之前写的Arduino-Lite轻量级AVR固件库（参见2011年第9期《无线电》杂志），因此如果需要使用这里的固件代码，请在 Google Code上下载并配置Arduino-Lite。接下来我将挑出一些典型问题进行介绍。

Arduino-Lite的下载地址：**http://code.google.com/p/rp-usb-connector/**

HID-USB设备的模拟及与PC通信

RoboPeak USB Connector使用的是不含有USB接口的AVR芯片，因此，USB通信支持是采用软件方式进行的。所幸目前V-usb开源库已经提供了很优秀的封装。

软件模拟USB的优势在于可以降低设备成本（带有USB的AVR芯片成本较高），缺点是稳定性和速率上不如硬件实现。好在对于本制作，稳定性和速度并不关键。

在使用USB接口与PC通信时有一个烦恼的问题是驱动程序。直接为系统编写驱动程序会提升制作的难度，同时对于64位 Windows系统，微软要求驱动程序进行签名。目前也有一种可以在用户态实现USB驱动的方案——Libusb，但是在64 位Windows系统上，这个做法就不管用了。

这里采用了另一种思路：利用OS自带的USB类设备驱动程序。USB协议中预先定义了几类USB设备的种类，比如Mass Storage就是平时用的移动硬盘，UVC设备常用于实现摄像头，HID设备用于实现键盘、鼠标，往往会自带驱动支持这类设备。这里我使用了HID类设备，理由如下：

（1）协议比较简单，通信单位也是数据包。

（2）支持 USB 1.1 低速率规范，可以用 V-usb 实现。

（3）在 Windows、Linux、Mac 上均可以通过 OS 提供的用户态 API 与 HID 设备通信。

采用了HID设备后，即使在计算机上首次使用本扫描仪，OS也能直接识别，不会要求安装驱动程序或者配置文件，如图34所示。

接下来的问题是如何利用HID设备进行通信了。这里的做法千差万别，为了提高通信质量，我使用了带有Checksum校验的、基于数据包的通信协议，将它运行在HID协议之上。因为本固件是基于RP USB Connector固件的，我直接采用了用于AVR芯片烧录器的STK500v2协议。

舵机驱动逻辑

在AVR上有很多舵机驱动库，我使用的是RoboPeak对Arduino自带舵机库的修改版本，该版本使用 Arduino-Lite进行了重写，精度上也较高。但这部分不影响具体效果，在此不多介绍。

数码管驱动逻辑

在RP USB Connector上引出了SPI总线，因此很自然的，我使用SPI协议驱动74HC595芯片，直接通过AVR控制数码管的每个LED，从而支持显示任意的图案。

要注意的是，双米字管的每个字符上相同位置的LED公用信号线，在驱动上需要采用传统的扫描方式，轮流点亮LED。

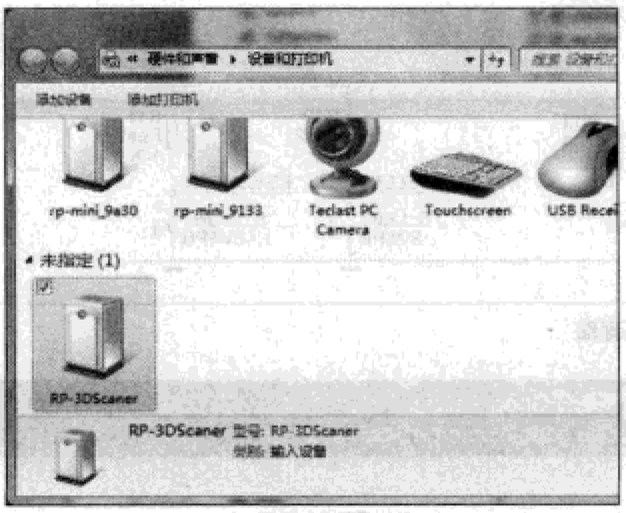


图34 本扫描仪在PC上被识别为HID设备

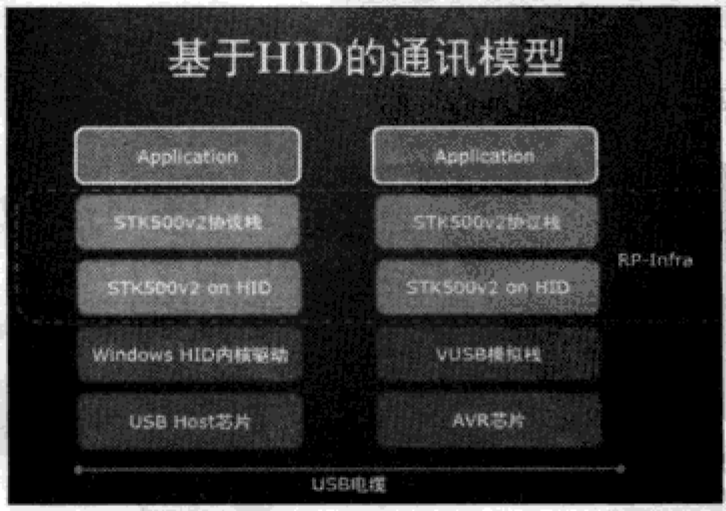


图35 本制作的通信构架

图像处理和渲染

图像处理部分就是前面所介绍的几个步骤：

（1）获取摄像头原始画面。

（2）通过摄像头校正参数，消除画面扭曲。

（3）提取和识别激光光斑的位置。

（4）将激光光斑的位置代入距离求解公式，算出对应点真实距离。

本制作使用了OpenCV库简化图像计算的开发难度，这也有利于代码的跨平台移植。对于摄像头的校正，会在后文介绍。

这部分的细节已经在前面详细介绍了，因此这里给出程序运行中的截图作为示意，见图36。

由于采用了红外激光器，在加装滤光片后，背景光干扰被有效地去除。画面上除了激光光斑外，几乎看不到别的内容。红外激光在摄像头中以偏紫色的色彩显示。

图36中显示了画面中心点的激光中心坐标值，这样做的目的是用于后期进行测距参数的校正。而使用中心点的原因在前面已经介绍过。

渲染点云

在视频中可以看到实时扫描并显示点云的画面。在明白了扫描原理后，这点就没什么特别的了，都是基本的3D渲染技巧，我使用了Irrlicht开源3D引擎简化了这部分的实现工作。

除了自行编写软件外，也有很多工具可以用来查看3D点云，比如开源的MeshLab、Blender以及Matlab。后面我将给出可以在Meshlab中观看的点云数据。

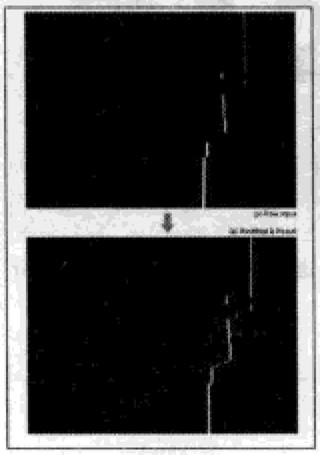


图36 对摄像头画面进行扭曲校正并识别激光点的过程

要产生可以被这类软件读取的文件很容易，像MeshLab支持如下格式的文本点云数据：

```
x1,y1,z1
x2,y2,z2
...
xn,yn,zn
```

校正

当完成所有制作和PC端软件后，就可以进行校正工作了。校正主要分为摄像头校正和测距校正。

摄像头校正

我使用自己打印的Chessboard图案，分别在不同距离和位置下拍摄了不同画面，如图37所示。校正工具使用了Matlab的Camera Calibration Toolbox，如图38所示。OpenCV也包含了摄像头校正功能，也可以直接使用。

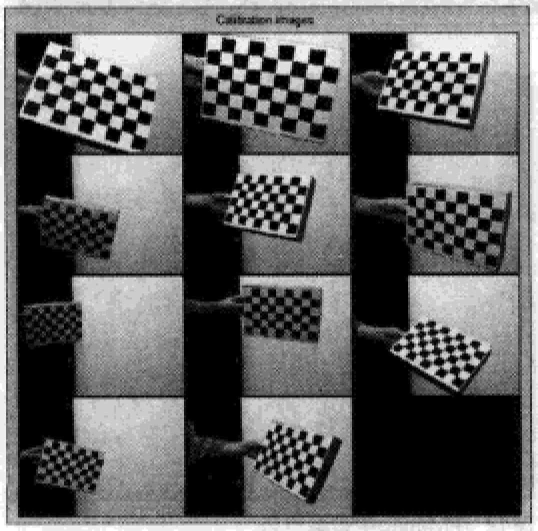


图37 用棋盘图在不同位置下拍摄画面

在完成校正后，将得到如下的校正参数：

```
Calibration results (with uncertainties) :
Focal Length:fc=[935.44200 929.73860]?
[11.29945 10.64268]Principal
point:cc=[149.00014 233.25474]?
[ 17.13538 11.11605]
Skew:alpha_c=[0.00000]?[0.00000]
=>angle of pixel axes=90.00000?
0.00000 degrees
Distortion:kc=[-0.13196 -0.05787
-0.00358 -0.01149 0.00000]?
[0.04542 0.12717 0.00195 0.00565
0.0000]
Pixel error:err=[0.24198 0.25338]
Note: The numerical errors are approximately three times the standard deviations (for reference).
```

对于这里的应用，只需要关心Focal Length、Principal point、Distortion等几组参数。可以使用OpenCV的cvInitUndistortMap/cvRemap读取校正参数并完成画面扭曲消除。

测距参数校正

要开始测距校正，首先要求PC客户端软件已经能够得到激光光斑中心位置。这里给出对画面中心位置激光光斑测距参数校正的过程。至于这样做的理由，已

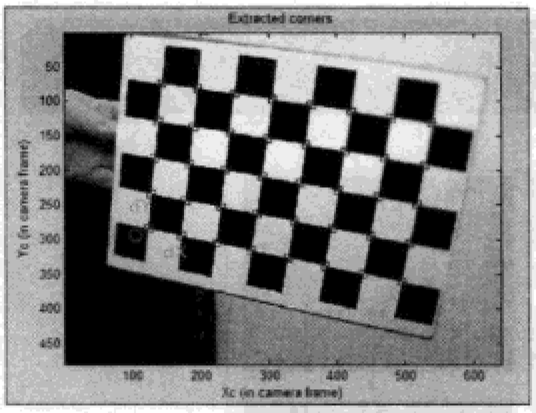


图38 使用Matlab进行校正时识别出的Inner Corner

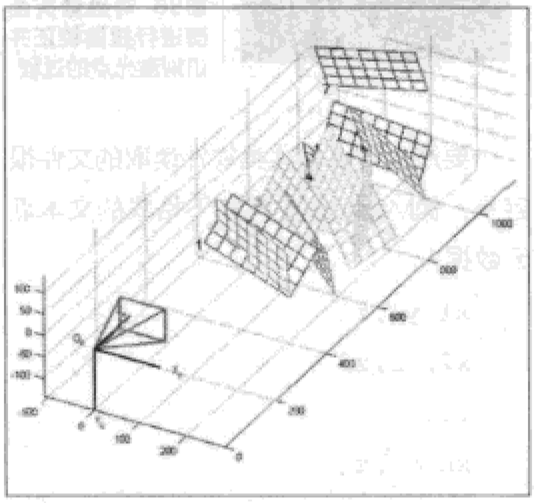


图39 校正计算的外部参数（对本制作无用）

经在前面详细介绍了。其他的参数可以用相同的思路进行。

理想的校正环境是比较空旷的区域，前方有垂直的白墙用于反射激光光斑，并配备高精度的测距仪器参考。我没有这样的条件，也没有必要如此，因此采用了比较山寨的参考设备——卷尺。

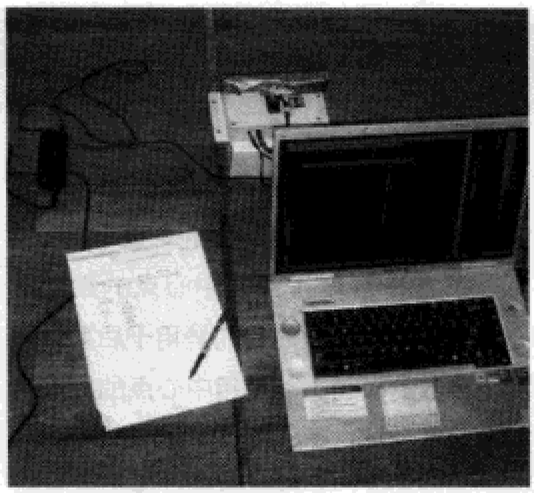


图40 进行测距参数校正

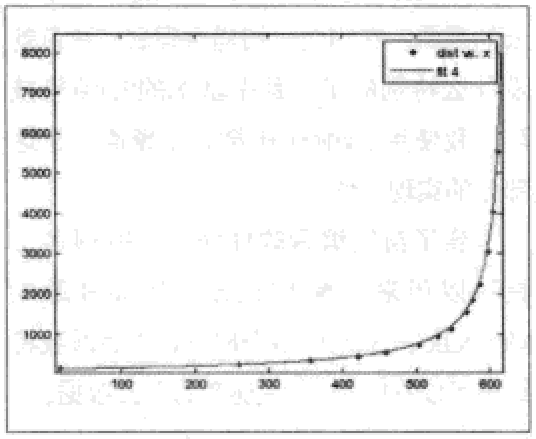


图41 对校正数据进行的拟合

图40所示的正是在制作本测距仪的过程中进行校正时所拍摄的照片，所需要的设备就是一把卷尺，当然最好能够足够长，有5~6m，这样可以校正到较远的距离，一般校正到5m是必须的。

校正至少需要采集2个参数：实际的距离值、激光光斑中心点位置。校正采集到的数据自然是越多越好，但一般6个以上的点即可。

如下是本制作校正采集的数据：

Dist	X
146.8	14.79
246.8	259.63
346.8	356.72
446.8	420.24
5 46.8	457.9
746.8	503.58
946.8	528.9
1146.8	546.71
1546.8	567.54
1846.8	576.87
2246.8	586.08
3046.8	597.04
4046.8	604.6
5546.8	611.9

在完成了数据采集后，可以在Matlab等工具的帮助下进行曲线拟合。拟合的曲线公式正是前面提到的式（4）。从图41可以看出，采集的数据和理论曲线非常吻合。

结果和讨论

本制作的结果在文章开始的时候已经给出了，简单说，就是达到了预期。这里给出前面图像和视频中出现的我的扫描像的点云数据，可以在MeshLab中导入察看，同时也给出一些额外的图片和视频。

性能分析

这里主要看看扫描精度实现的情况。如果之前校正用的基准数据没有任何误差（实际上不可能），激光光点提取算法没

作者扫描像点云数据：http://www.csksoft.net/data/pic/3dscanner/sample/face_scan.zip
另一段实时扫描渲染视频：http://v.youku.com/v_show/id_XMzE4NzY1Nzcy.html
在Matlab中观察点云的视频：http://v.youku.com/v_show/id_XMzE4MTA0MzMy.html

有问题，那么实际工作时的误差主要就体现在拟合的曲线与实际的函数曲线的差距。换句话说，就是拟合得到的参数与实际正确的参数（我们并不知道）的差距。当然，上面两个假设实际都是不成立的，

图42 在Matlab中查看点云

表3 性能分析

Dist	X	Calc	Diff
146.8	14.79	123.3103843	23.48961566
246.8	259.63	231.8752505	14.92474953
346.8	356.72	328.8075565	17.99244355
446.8	420.24	440.8004392	5.99956081
546.8	457.9	546.254414	0.545586001
746.8	503.58	758.5428124	-11.74281238
946.8	528.9	958.9149139	-12.11491386
1146.8	546.71	1172.910412	-26.11041169
1546.8	567.54	1578.227294	-31.42729368
1846.8	576.87	1862.988106	-16.18810582
2246.8	586.08	2262.96604	-16.16604012
3046.8	597.04	3030.93851	15.86149048
4046.8	604.6	3948.153444	98.64655635
5546.8	611.9	5564.223928	-17.42392847

不过，我们先假设它们都没有误差，先来分析校正曲线与实际曲线的误差。

如表3所示的数据是在之前校正中收集的数据基础上得到的，其中Calc列的数据是以校正后的拟合曲线，通过式（4）的计算得到的测距数据，而Diff就是计算得到的距离和真实距离Dist的差值。这里的单位除了X列外都是mm。

从数据上可以很直观地看到，在4046mm处进行测距时，计算结果和实际值相差了98.64mm。相比这个，对于近距离的数据，误差也比较大。对于第二个现象，猜测这是由于镜头扭曲造成的。但是，大家可能会有疑问，我不是已经做过摄像头校正了吗，为何还会有镜头扭曲？这里给出几个可能的解释：

（1）摄像头校正结果存在误差，仍旧有细微扭曲。

（2）摄像头校正也是基于实现设计出来的数学模型，实际情况有很多其他因素均能导致画面扭曲，但它们无法通过目前的校正修正。

（3）红外光的折射率与自然光不同，校正是针对自然光频率范围进行的，因此对于红外光，扭曲依然存在。

实际的情况可能是这些原因中的几种组合。另外，别忘了我们之前做的两个假设，实际它们也是不成立的。在得到了这个误差表后，接下来的问题是：可否继续校正来弥补这个误差？这也是可以做的，至少有了上面的表格后，可以在对应的距离下直接校正出正确结果，不过这样做的有效性还有待验证。

除了测距精度外，这里也提一下扫描的分辨率。前面我提到过目前的舵机可以实现0.3°的角度定位精度，但实际上对于近距离物体扫描，这是不够的。目前的设备比较适合进行大范围扫描，这也比较符合它作为激光雷达的用途。

下一步工作

目前本制作已告一段落，这里说说我的制作动机和下一步打算。其实动机在前面已经点到，就是用于机器人进行SLAM，这也是接下来我即将进行的事情。当然，其实能做的事情还有很多。

进行多视角扫描，并合成为一个全局点云

商业的扫描仪都会支持这个应用。目前一次3D扫描只能采集物体的一个表面，而它的背面则无法扫描。如果对物体的背面也进行3D扫描，那就能得到完整的3D模型了。

要实现它，可以有两种办法：

（1）旋转物体本身，扫描仪固定。

(2)扫描仪在不同方位扫描目标物体。

第一种方法的实现和原理很简单，第二种方法的核心问题是如何将两次扫描的点云对应起来。除了人工拼接外，实际上也有比较成熟的算法，这类算法被称为Surface Registration。ICP-Slam也是采用了这样的算法。

提高扫描精度和速度

更高的精度和速度永远是对这个作品的需求，这就不多解释了。我在原理部分也提到了改善性能的方法。

基于3D点云进行物体识别

这个应用就很类似Kinect了，其实实现的算法也是相同的。

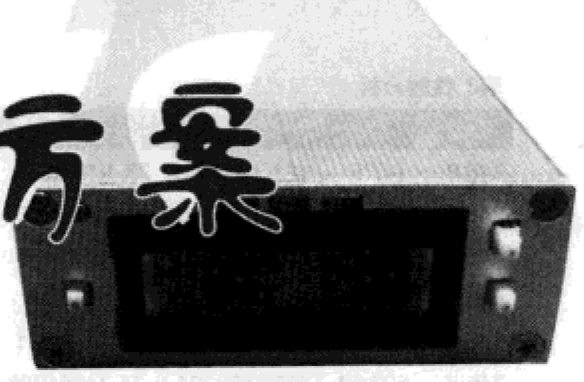
这里也提一下一个可用的工具和库——PCL（Point Cloud Library）。它也是机器人公司WillowGarage推出的开源库，其中包含了可以实现上述扩展的基础库，有兴趣的读者可以尝试。

好了，这个系列的文章就告一段落了，感谢能耐住性子看到这里的朋友们。如果你们愿意，可以在我的Blog（www.csksoft.net/blog/）上留个言让我知道。每次写好这类文章，都感慨写文章要比制作更复杂、漫长，其中要把自己的想法转化成大家能懂的语言，对我这个表达能力较差的人来说还是蛮辛苦的。

太阳能气象站已经会自己发微博了！

太阳能气象站已经会自己发微博了，每隔半小时，它会以拟人的方式在微博上更新最新的气温信息，同时通知主人是否有信件。比如“当前松江室外温度：5.8度，湿度:27%，日照参考：1023。外边好冷呀……真受不了南方的湿冷。信箱里有信件，主人快来拿！2011年 12月 24日 星期六16:26:52 CST”。大家可以通过weibo.com/cskbot01关注它。该应用采用bash脚本在原有IHES服务器体系上实现，相关代码请访问t.cn/S6f8-kA获取。

多功能移动电源制作全方案



◇唐荣

移动电源，也叫“外挂电池”、“外置电池”、“后备电池”、“数码充电伴侣”，就是方便携带的大容量随身电源。它是随着数码产品的普及和快速增长而发展起来的，数码产品功能日益多样化，使用也更加频繁，如何提高数码产品的使用时间，持续供电的重要性就越来越凸显了。移动电源，就是针对并解决这一问题的最佳方案。

移动电源必须具有良好的移动性和通用性。所谓移动性，是指产品能在移动状态下（例如旅游、户外活动，充电器不在身边或不方便充电的情况下）发挥其功用，即在Anywhere（任何地点）、Anytime（任何时间），不受局限地给数码产品供电或充电。其通用性是指产品能够适合最大范围的数码产品。其实，不仅如此，有的移动电源可以通过USB电缆线使用在任何符合USB On-the-Go（USB-OTG）的便携型设备上（如USB电灯、USB电热咖啡壶等）。

移动电源应用的普及，让其设计的安全性显得尤为重要。由于一些移动终端厂商的产品设计缺陷，我们多次听到过手机电池爆炸伤人的事件，而造成电池爆炸的主要原因就在于电源管理部分的设计存在缺陷。因此，良好的电源管理设计是移动电源安全性的保障，也是DIY移动电源的设计重点。用18650圆柱锂电池或条状的锂聚合物电池DIY的移动电源，在移动状态中随时随地为多种数码产品提供电能（供电或充电），这是目前市场比较流行的移动电源方案。

笔者一口气制作了3个移动电源（见图1），逐步改进并完善。第一个电源仅采用单纯的LTC1700升压方式，只能升压到5V，供手机设备供电，第二个移动电源采用双路LTC3780与LTC1700混合模式，可以输出5V的USB电压，还可输出两组独立可调的电压，用来驱动笔记本电脑等高耗电设备，并且还可以带一只移动的24V烙铁，用来紧急时焊接使用，第三个移动电源就是本文要为大家介绍的制作项目，含有一路LTC3780可调电压输出，可用来驱动笔记本电脑，另一路3R33驱动的5V USB电压输出，用MAX745控制充电，采用了电容均衡电路等，是3个DIY移动电源中最为完善的。

本文介绍的移动电源具有以下特点

» **输出电路1：** USB 5V/3A输出，功率15W。

» **输出电路2：** 可调0.8~22V输出，内电池供电功率为30W，用外部直插电源供电功率为100W。

» **带均衡电路：** 带3串电容均衡电路，并且自带外部接口均衡，留有6孔均衡充接口，并且有均衡指示。同时，该接口还是一个多功能接口，平时无电压输出，但插入接口后，自动接通外部电源，可均衡，可输出，还可以输入，并有信号指示，且拥有过压、过流、短路保护。

» **输出电容：** MLCC电容全部采用TDK电容，电解电容采用红宝石130℃军工电解电容，该电容耐热性能高，容量不易减小，并且还采用了三洋聚合物固态电容，不会爆浆或燃烧。

» **内部电源：** 采用3串18650锂离子电池，并且可以换成3块610608的聚合物电池，总输出电压12.6V。

» **4路电压液晶显示：** 可显示充电电压、电池电压、USB电压、可调电压、USB输出电流、可调电压输出电流以及外部充电电流。

» **静态电流：** 5μA，开启电压表电流30mA，开启电池端3780为4mA。

» 可为1台笔记本供电，并具有外部电源的UPS模式。

» 3串2600mAh电池，总功率为30W，输出电压为12.6V。

» 监视充电电流及负载电流。

» 尺寸大小：11cm×6cm×2cm。

图1 笔者DIY的3个移动电源

第一关

DIY 设计电池管理电路

目前市面上主流的移动电源基本都是单锂电池升压到5V的移动电源；采用的芯片也各式各样，运用的方式也不尽相同。不管怎样的移动电源，都有一个共同的目的，就是把不同电压的电池输出都统一稳定在5V电压上，这要靠高效、安全的电池管理电路，而该电路的核心就是电池管理芯片。所以说，除了电池，移动电源的灵魂就是电池管理芯片，这一点也不为过。

不同升压芯片的工作原理是不一样的，有同步整流的，有肖特基整流的。从效率与可靠性上来看，同步整流的效率可以高达98%，而采用肖特基整流效率一般在90%左右。这类的主要进口芯片有凌利尔特公司的LTC1700、LTC1871、LTC3780，美信公司的MAX1703，德州仪器公司的TPS61030等，国产芯片有PT13001等。我的制作方案采用的升压芯片是LTC3780，我认为这是款性能极为优异的芯片。不过现在凌利尔特有升级型号LTC3789，据说有恒流功能，本人用过几块LTC3789的DEMO板，但感觉没有LTC3780好用，所以放弃了。

手持设备越来越多，功能也越来越复杂，带来的耗电也随之增加，只有5V电压输出往往不够用，大家更需要的是一种可以调节输出电压的移动电源，既能升压到5V，又能根据需要调节输出不同的电压，如笔记本需要的电压在16~20V。正因如此，笔者才制作了本文介绍的这个电压调节型的移动电源，比市场上单一的5V移动电源功能强大多了。

附表

	LTC1700	MAX1703	TPS61030	单管升压	PWM芯片	LTC1871	LTC3780
输入电压	2.5~5v	0.7~5V	1.8~5V	0.8~5V	0.8~5V	2.5~36V	4~36V
输出电压	3.3~5.4V	3.3~5.4V	3.3~5.4V	3.3~6V	3.3~5.4V	5~36V	0.8~36V
工作模式	同步整流升压	同步整流升压	同步整流升压	升压	升压	升压	同步整流升压
输出电流	4A	1.5A	1.5A	0.5A	3A	*	*
效率极限	97%	95%	97%	85%	88%	*	*
效率峰值	1.5A	0.8A	全程	0.2A	1A	*	*
发热	小	小	小	大	大	*	*
静态耗电	0.3mA	10 mA	0.01 mA	0.05 mA	0.1 mA	1 mA	30 mA
待机模式	跳周期	PWM	跳周期	跳周期	跳周期	跳周期	PWM
干扰	中	小	中	大	大	中	中
升级空间	有	无	无	无	有	有	有
稳定性	高	高	中	中	低	*	*
低电压	灯亮停机	灯亮	停机	无	无	停机	无
焊接难度	高	低	高	低	中	中	高
成本	高	中	中	低	低	高	高

注：本表格中的数据摘自网络资料

常用电池管理芯片特点比对

TIPS1

» 从附表中，我们可以从几个方面大概了解各个芯片的特点。

» 附表中的数据我再具体解释一下：

1. 加*号的项目因为外围元件变化大，基本不能确定；
2. 干扰主要是指对外辐射的电磁波和输出纹波；
3. 升级空间是指通过更换电容、电感、功率管等，能带来很大的性能提升；
4. 效率峰值是指最推荐使用的电流值，在此电流下发热最小，效率最高；
5. 待机模式，跳周期干扰稍大，但是静态小，PWM 干扰小，但是静态耗电大；
6. PWM模式的芯片做成正负电源效果较好，FPM芯片容易负压不稳；
7. 稳定性是指不正常的外部环境（比如电压波动、短路、过流等）对电路造成损坏的可能性；
8. 单管升压的典型电路板有BAU72、BAU89、BL8530等，售价为3~10元，属于玩具级别；
9. PWM芯片的典型电路板有RT9262、RT9266、PT1301、UC38XX等，售价为23~35元，属于实用级别；
10. 焊接难度等级：低——尖头烙铁+焊锡即可搞定，中——除了烙铁，可能还需要吸锡带、助焊剂等工具，高——烙铁焊接困难，需要工具齐全。

» 附表中的芯片都很好，特别是同步整流的，但元件布局需要非常讲究，否则会有很大待机电流，还有可能会发生自激。在这里面最难布线的是LTC3780，稍不注意就不会成功。

第二关 DIY 选择电池

锂电池乃移动电源的动力之源，分成很多种类，有锂离子电池、锂聚合物电池、动力锂电池、磷酸铁锂电池等。移动电源主要采用可充电锂离子电池和锂聚合物电池，一般的手持式设备里也大多用这两类电池，因为它们属于高能量密度的电池，在单位体积内，储存的电量一般比其他电池更大，重量更轻，体积更小。尤其是可充电锂离子电池，它可以提供更高的能量密度（最高达200W·h/kg或300～400W·h/L，分别是Ni/Cd或者Ni/MeH电池的2.5倍和1.5倍）和更高的电池电压（碳阳极电池为4.1V，石墨阳极电池为4.2V），并具有无记忆效应，自放电率小，有可快速充放电及更高的充放电次数等优点。只要严格控制好锂离子电池的充电参数，就能让我们充分利用电池容量，延长电池寿命。利用锂离子可充电电池，自己DIY出实用的移动电源。

本文介绍的移动电源不光从制作方面入手，我还希望将制作过程中对各个电路及芯片和锂电池安全性方面的设计考虑与大家分享。

锂电池分类 TIPS2

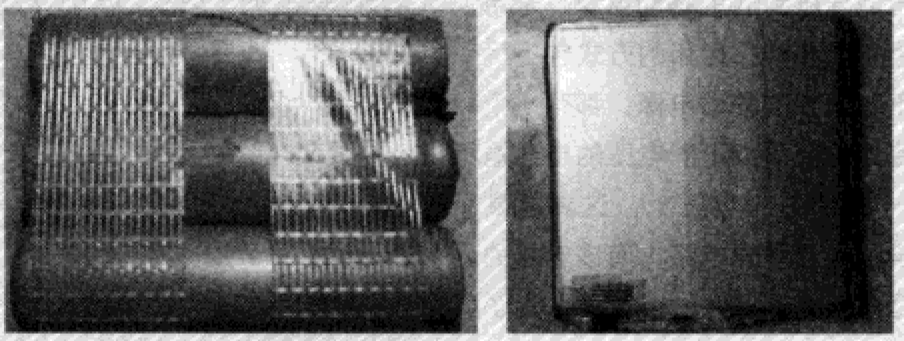


图2 锂离子电池（左）与锂聚合物电池（右）

» **按外形分**：方形（如常用的手机电池）、柱形（如 18650，本文采用）

» **按外包材料分**：铝壳锂电池、钢壳锂电池、软包电池

» **按正负极材料（添加剂）分**：沽酸锂（LiCoO2）、锰酸锂（LiMn2O4）、磷酸铁锂电池、一次性二氧化锰锂电池、锂离子 LIB、聚合物 PLB

» **按不同的性能、用途分**：

一次性：扣式3V锂锰电池

高容量（高平台）：用在手机等数码产品上

高倍率：用在电动车和电动工具及飞机模型上

高温：矿灯、室上灯饰、机器内置后备电源

低温：室外环境、北方（冬天）、南极

由于单节锂电池的容量往往不能满足一般手持设备的要求，如笔记本电脑之类的，所以就需要多节电池串/并联，以提高移动电源的储存容量。本文介绍的移动电源采用了3节2600mAh的18650电池，总容量在7800mAh，并且还可以把该电池换成3块扁状的锂聚合物电池，体积更小，重量更轻。两种电池如图2所示。

第三关 DIY 实际电路设计

充电电路

由于本次移动电源采用的是3节锂电池串联，所以，我选择了美信的MAX745专用充电电路，该电路是锂电池1~4节专用充电IC，该芯片实物与电路如图3所示。

MAX745在不需要任何散热材料的条件下，恒定充电电流可达4A，充电电压非常稳定，电池两端最大电压误差只有±0.75%。

MAX745采用双回路稳定充电电压和

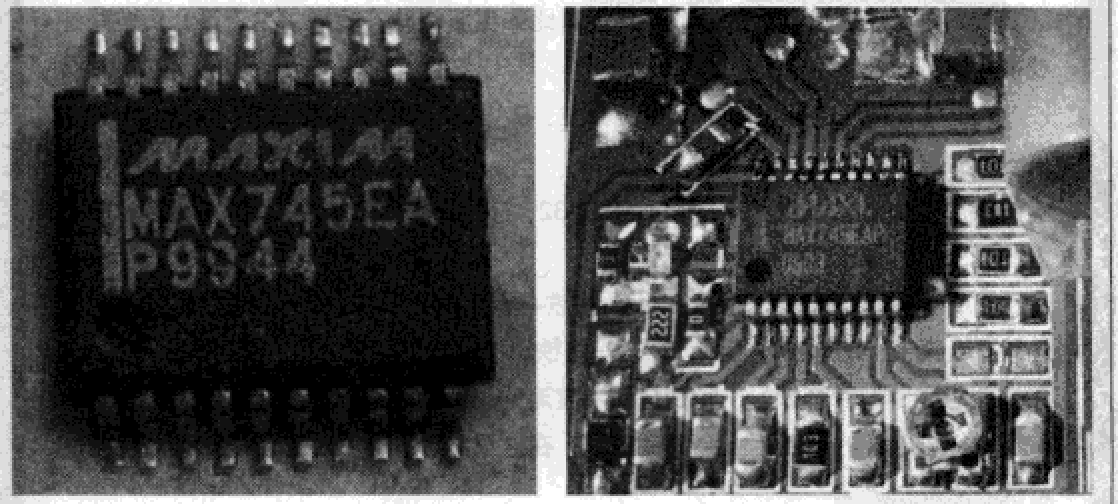


图3 MAX745与实物电路

充电电流，采用精度为1%的普通电阻，单体电池的充电电压可在4.0~4.4V范围内调整。如果改变其11、12脚的连接方式，MAX745充电器可对1~4节锂离子电池充电，充电器总输出电压误差小于±0.75%。MAX745的最高输入电压可达24V，可对最高工作电压为18V的电池组充电。控制器开关频率为300kHz，因此充电器噪声很小，所用外部组件的体积也很小。

MAX745内部可产生5.4V和4.2V两种基准电压。5.4 V电压除了给该集成电路供电外，还经VL脚给外部电路供电。4.2V为该器件的基准电压，该基准电压通过外接电阻分压器，可给电流误差放大器、电压误差放大器及温度误差放大器提供不同的基准电压，还可经REF脚给外电路供电。图4是本制作采用的充电原理图。

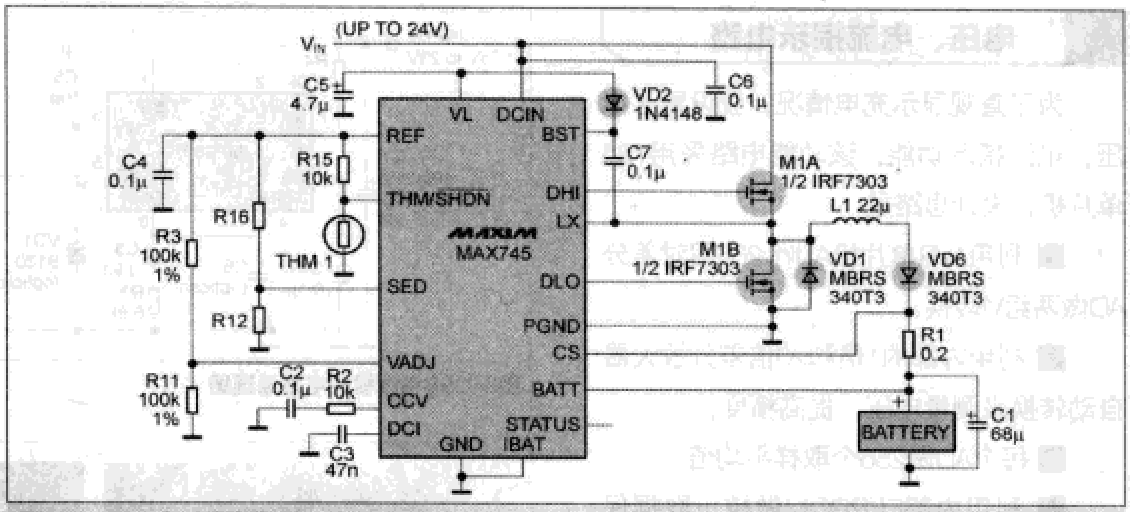


图4 MAX745专用充电电路

升压电路

升压芯片采用的是凌特公司的高性能升降压LTC3780，它是一款高性能降压/升压的开关型稳压器，可在输入电压高于、低于或等于输出电压的条件下工作，并且最大转换效率可达98%。恒定频率电流模式架构提供了一个高达400Hz的可锁相频率，可以在4~30V宽输入和输出范围内实现不同工作模式间的无缝切换。所以输入电压无论多少，输出电压都可以保持恒定，图5是我所采用的升压电路的原理图，图6所示为芯片与实物电路。

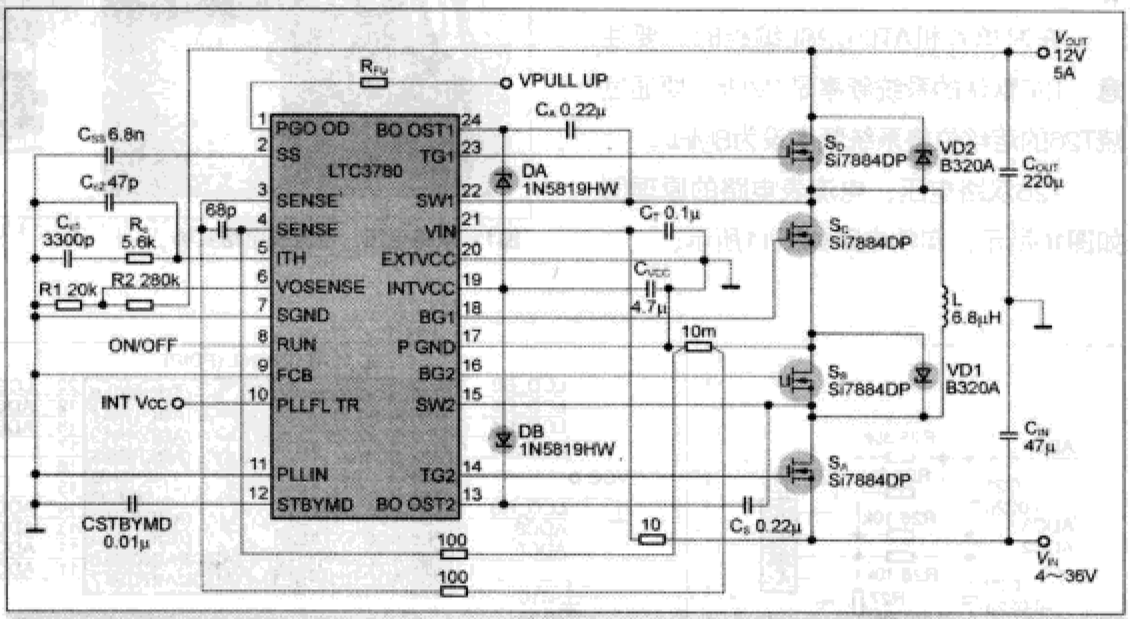


图5 升压电路原理图

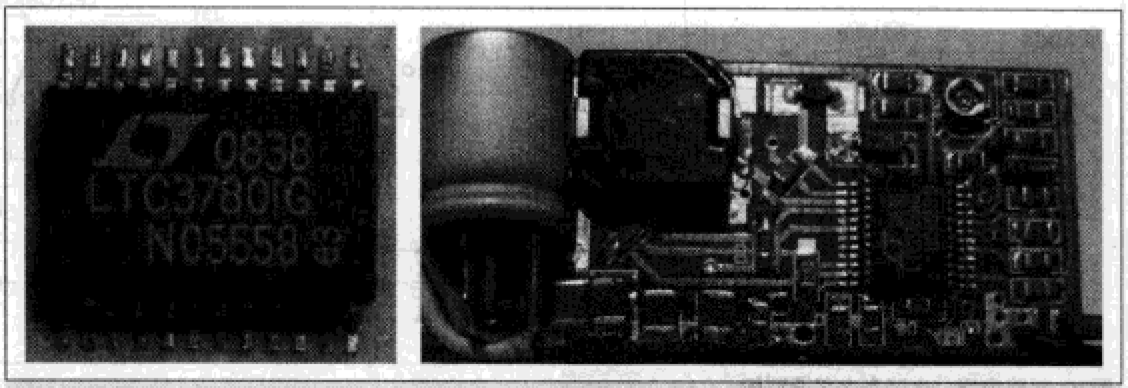


图6 LTC3780升压芯片与实物电路

LTC3780转换板与MAX745充电板设计到了一块印制电路板上，其PCB图如图7所示。

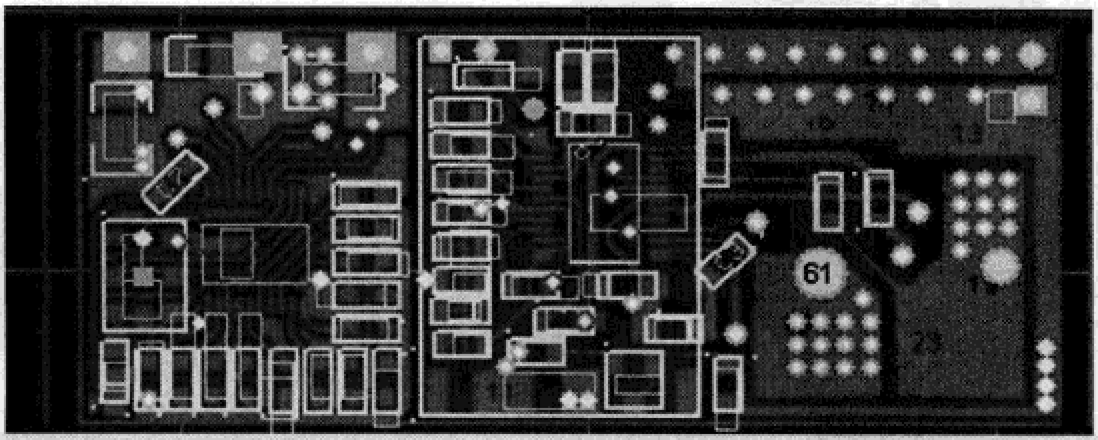


图7 LTC3780转换板与MAX745充电板PCB

USB电源电路

USB电源采用的是固定模块3R33，该模块市面上很普遍，价格也很便宜，该模块的主要IC是 MPD2307，是款降压型同步整流IC，效率很高，输出5V/3A提供给USB插口。电路原理图及模块实物图分别如图8、图9所示。

电压、电流指示电路

为了直观显示充电情况，我设置了电压、电流指示功能，该功能电路采用T26单片机，设计思路是：

■ 利用AVR单片机ATtiny26L四对差分AD做两组VI转换；

■ 利用内部的1倍和20倍差分放大器自动转换来测量电压，提高精度；

■ 每个AD做256个取样平均值；

■ 利用内部EEPROM做校正数据保存。

在对单片机ATtiny26L编程时，要注意，T26默认的系统频率是1MHz，要通过烧T26的熔丝位将系统频率设为8MHz。

T26双路电压、电流表电路的原理图如图10所示，实物电路如图11所示。

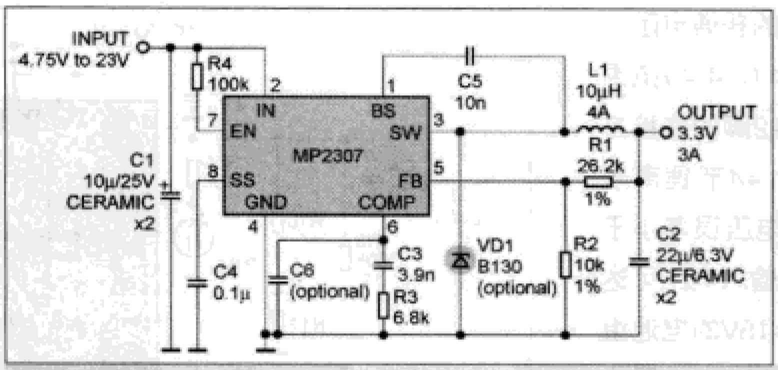


图8 USB电源模块电路原理图

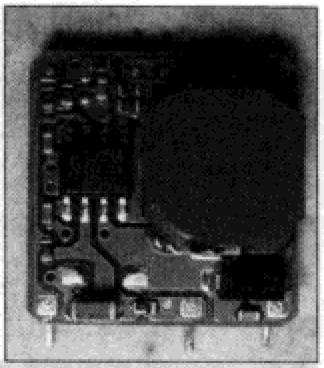


图9 USB电源模块3R33

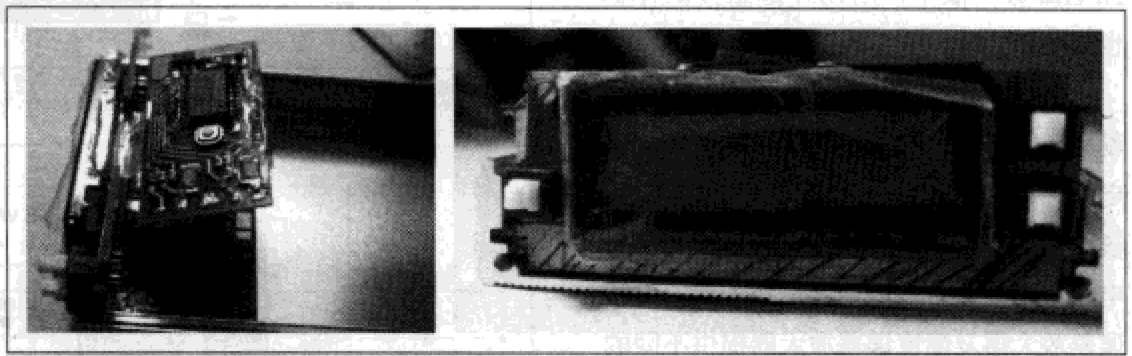


图11 双路电压、电流表电路实物

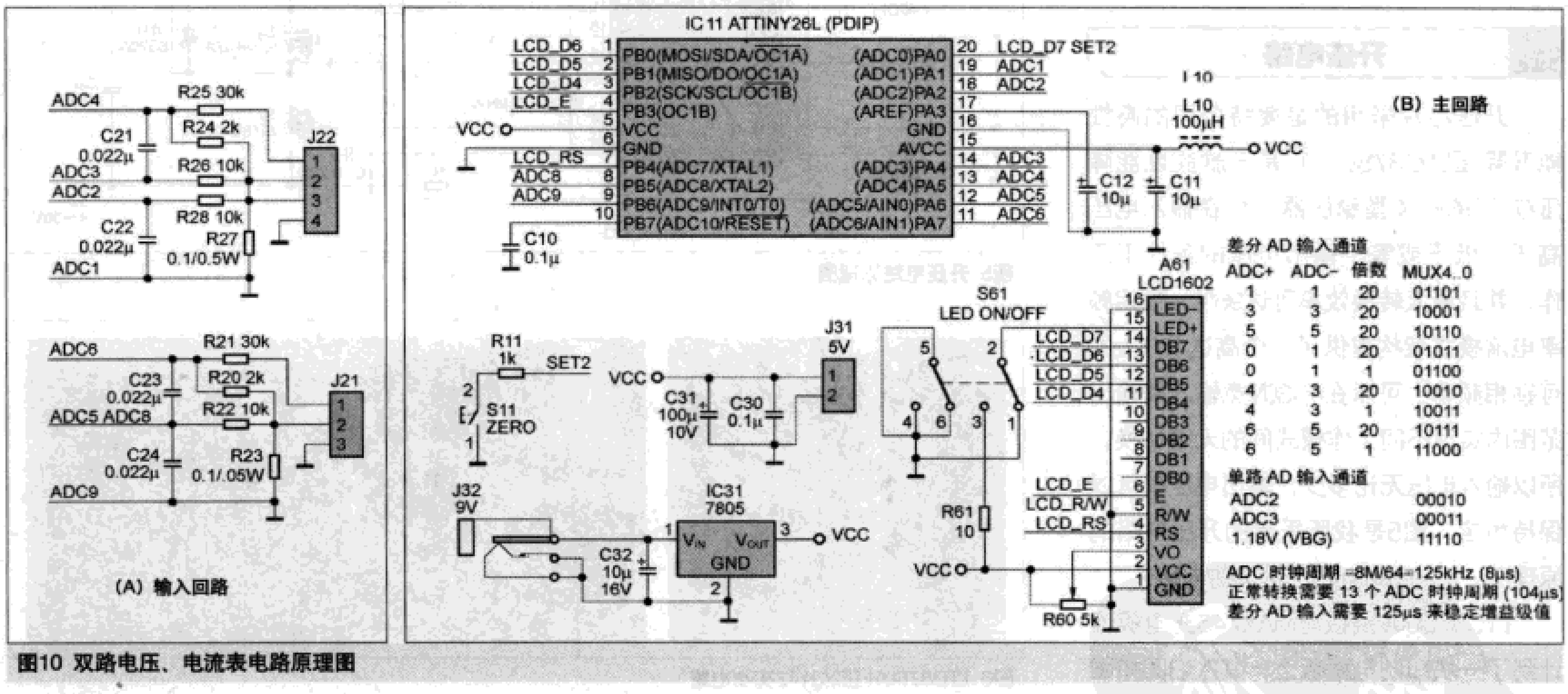


图10 双路电压、电流表电路原理图

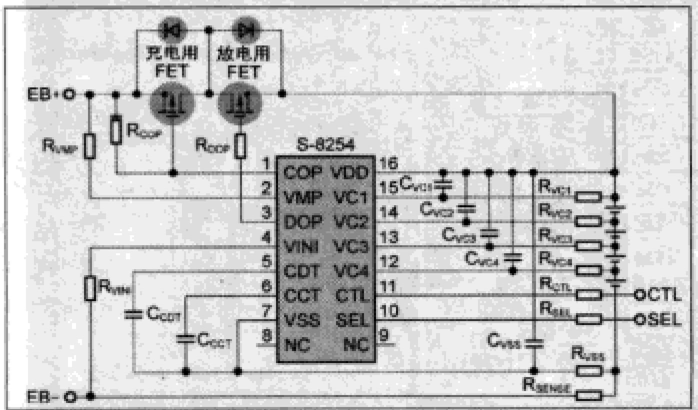


图12 锂电池保护电路原理图

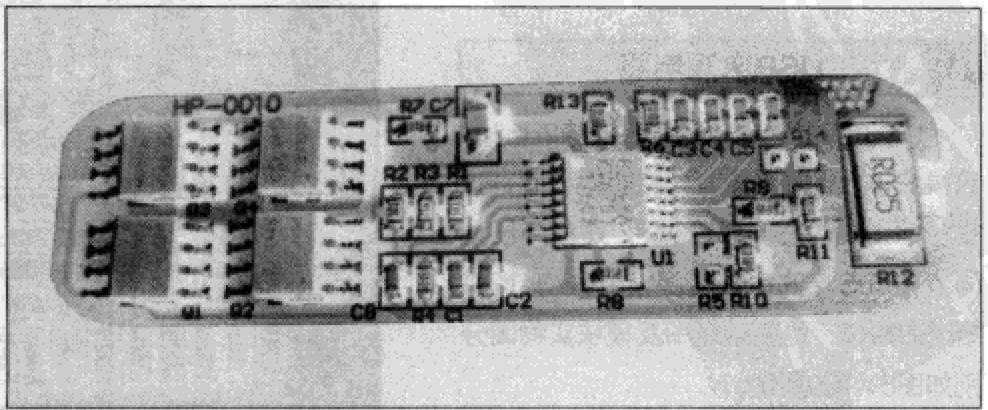


图13 锂电池保护电路实物

锂电池保护电路

锂电池保护IC采用精工的S8254，该系列芯片是内置高精度电压检测电路和延迟电路的3节串联或者是4节串联用锂离子可充电池保护IC。本制作所采用的电路如图12所示，实物见图13。

电源UPS切换电路

电源UPS切换电路可以实现的功能是：插入交流电后即由外部供电，并切断与主回路电池的供电，可发挥电压转换器的作用，输出0～20V可调，一旦外部电源切断，自动转换为电池供电，并且无电压重叠区。另外，当接入外部电源后，同时给电池充电，充电电流0~3.5A可调。另外，外部电源的充电阀值电压可设置（比如设置在14V，即低于14V，不接通充电回路，只接通升压电路回路），设置阈值在12～20V。其电路原理图及PCB图如图14所示。

电容均衡电路

移动电源的电池组是由多个相同的电芯串、并联组成的，这个过程中最重要的就是电芯的“相同”，但每个电芯是不可能完全一致的，比如内阻、容量、电压、充电放电曲线等都会有偏差，所以在充电或者放电时会有所不同。这些偏差有可能会使电池保护板提前保护，这就不能有效地利用每个电芯的能量了。因此，就需要在电池组中加上均衡板。

目前采用得最多的是充电均衡板，主要是在充电过程中，保证每一个电芯在保护范围内都能均衡地充到某个点（满电点）。有一些均衡板还设计了放电均衡功能，确保每个电芯在保护范围内都能放完电量。

简单说，均衡是为了能使电池都能充满、都能放完电量。本文采用的均衡板是电容式均衡板，可在充电与放电时对电池进行均衡，最大均衡电流可达2A。电路原理图、PCB图与实物如图15所示。

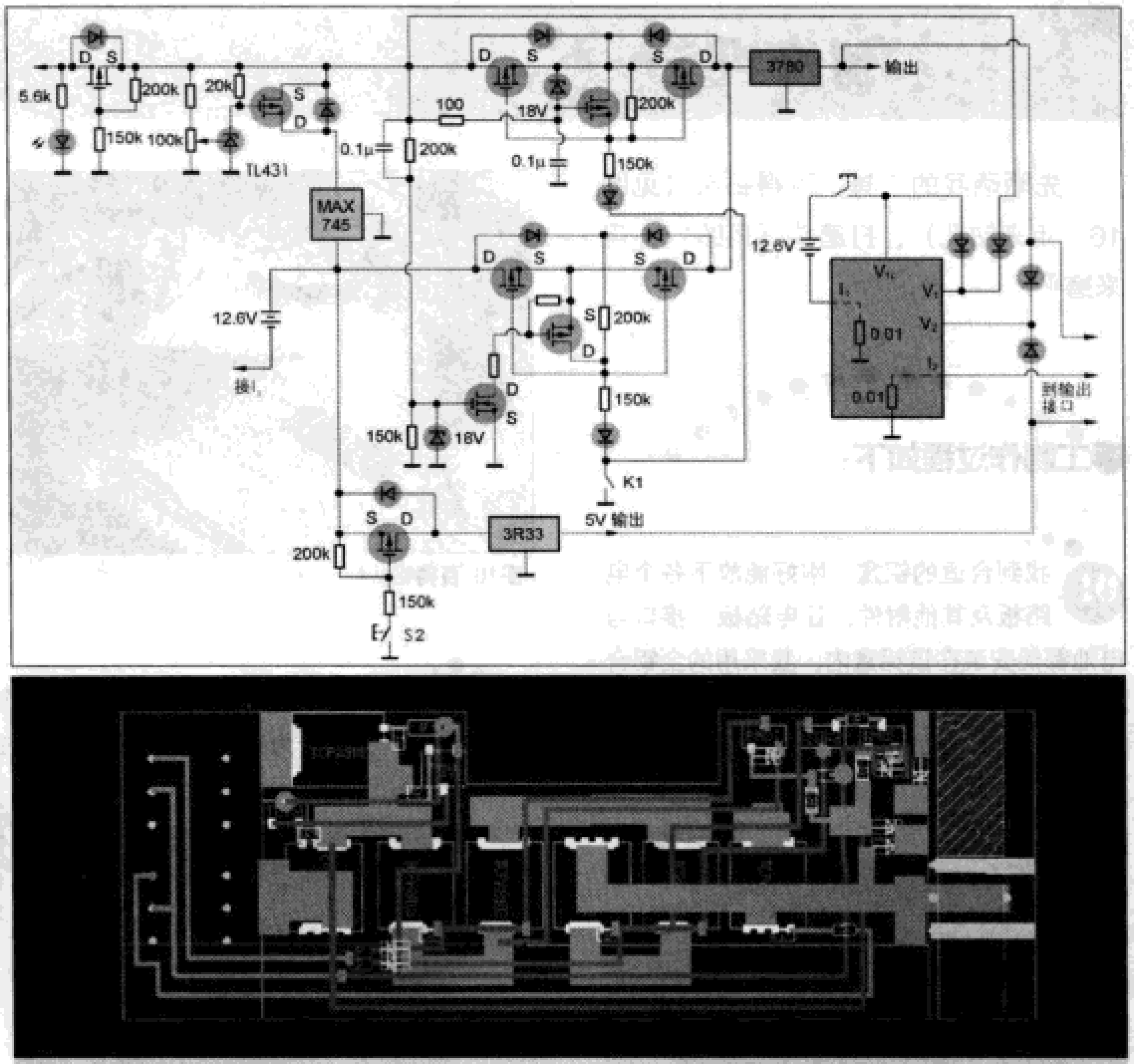


图14 电源UPS切换电路原理图（上）与PCB图（下）

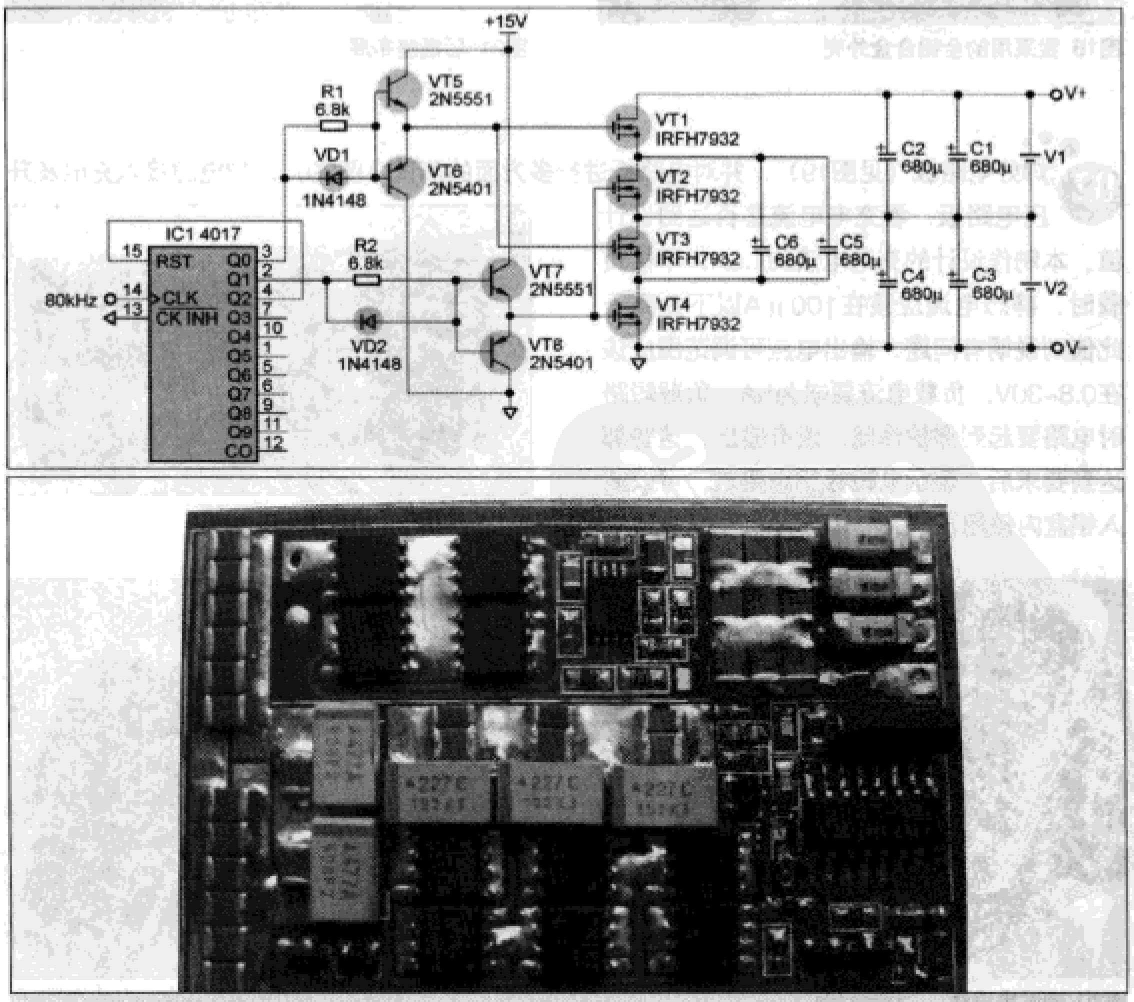


图15 电容式均衡电路原理图及实物

第四关 DIY 制作细节

先晒晒我的工具：百得钻头（见图16，用来钻孔）、打磨头（见图17，用来磨平）。

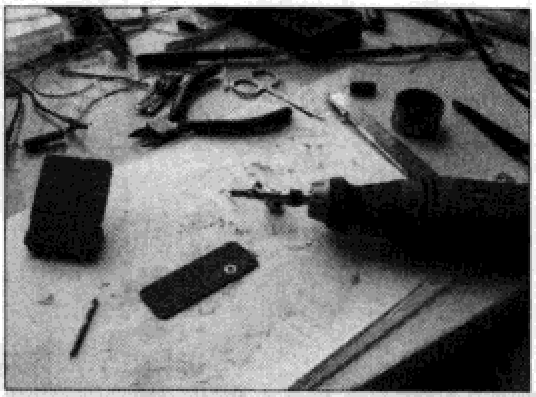


图16 百得钻头

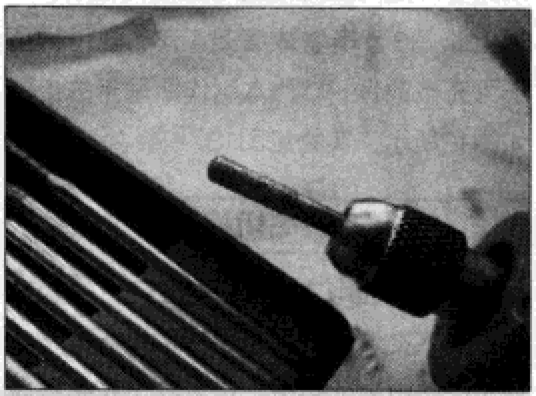


图17 打磨头

手工制作过程如下：

01 找到合适的铝盒，刚好能放下各个电路板及其他附件，让电路板、接口与电池都能安装在该铝盒内。我采用的全铝合金外壳（见图18），是在网上购买的现成铝盒，如果向厂家订制，对个人来说，成本太高了。

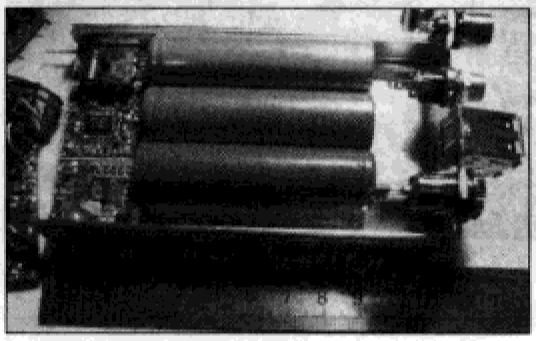


图18 我采用的全铝合金外壳

03 设置后插座布局。后面的插座需要两个USB口，一个是iPhone专用充电接口，有识别电阻的，另一个为普通的USB供电口，右边为可调输出的电压接口，左边为电容均衡板接口，如图21所示。

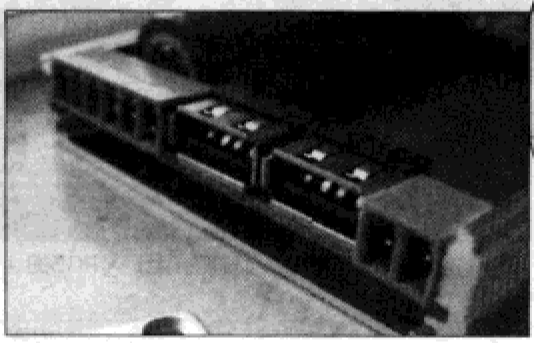
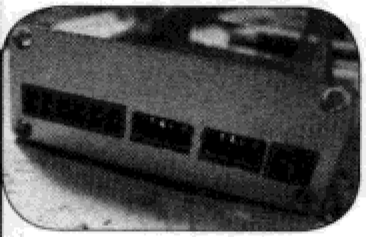



图21 后插座布局

04 设计前挡板，按照铝盒的前端样式画出PCB的轮廓，按轮廓剪切下来，后面我们要在该PCB上进行线路敷设。剪切出的PCB要跟前铝盒挡板一样大小（图22）。

02 焊好电路板（见图19），并对电路板进行多方面的测试（图20）。把电源接入充电及升压电路板，看充电电流是否达到设计值。本制作设计的充电电流为1.5A，不接负载时，静态电流应该在100μA以下，高于此值则说明有问题。输出电压可调范围应该在0.8~30V，负载电流要求为5A，负载短路时电路要起到保护作用，没有输出。这些都达到要求后，表示电路板符合要求，可以装入铝盒内使用了。

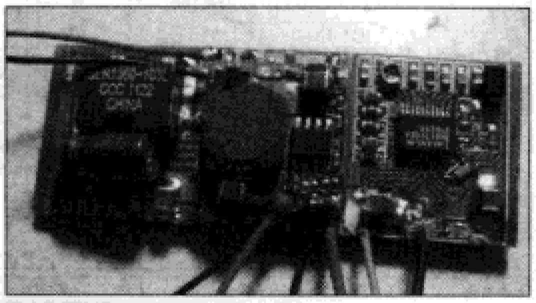


图19 焊好的主电路板

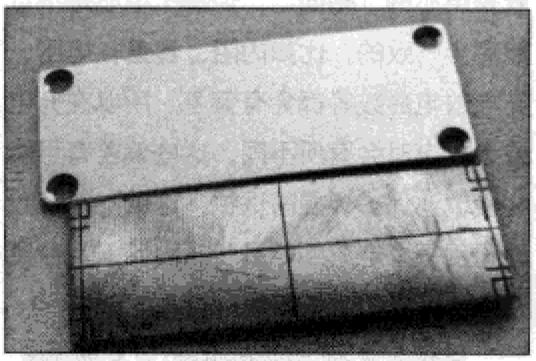


图22

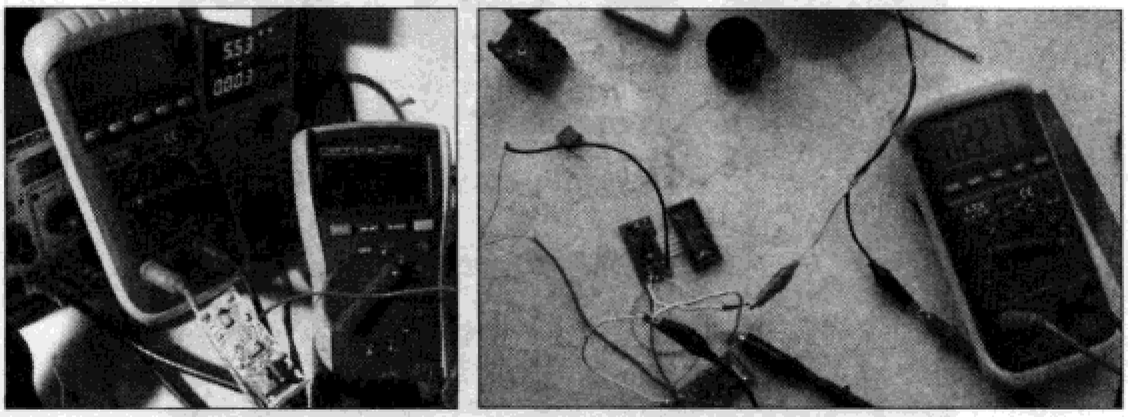


图20 测试电路板

05 将电压、电流表安装在前挡板前面（图23）。

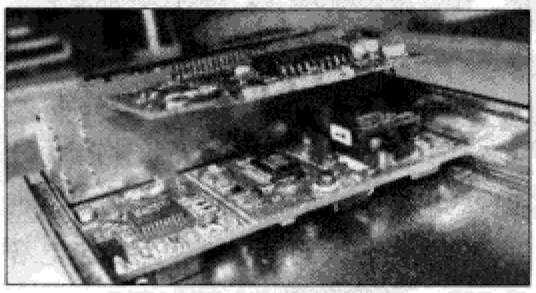


图23

06 用$FeCl_3$溶液在前挡板上面腐蚀电源UPS切换电路的PCB图（图24），焊接好元件后如图25所示。

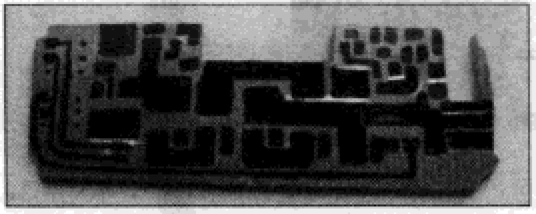


图24

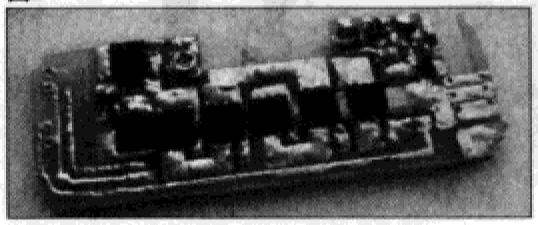


图25

07 用电磨在前面板上开孔，开得圆孔后可用小锉刀在横竖方向上锉出一个方孔出来（图26）。

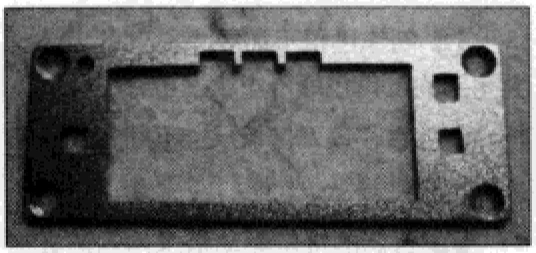


图26

08 在测试通过的主电路板后面加上铝散热板（图27）。

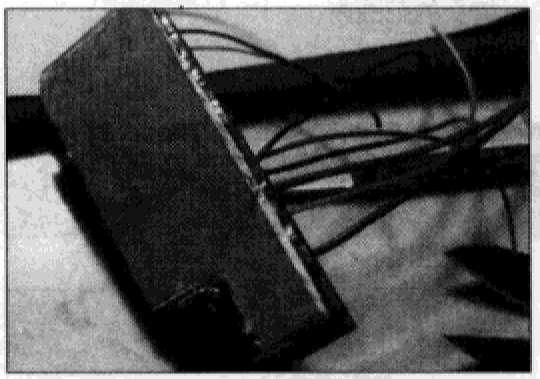


图27

09 将主电路板与电压表头组装成型（图28）。

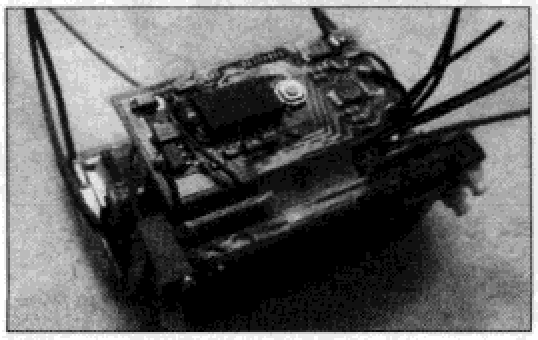


图28

10 用同样的方法，制作出后面板开关电路（图29），将该电路与保护板安装在电池上，用含纤维的3M专用胶带将其固定（图30），保证连接可靠。

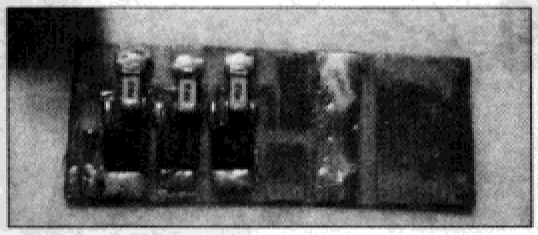


图29

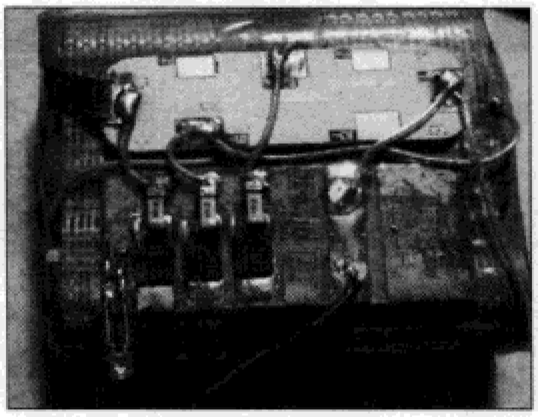


图30

11 将上述部件都组装到铝合金外壳里，并连接好各回路导线，见图31。安装好后面板插座（图32），从左向右依次是：左上充电口，左下均衡口，中间为USB接口，右边为0.8～24V可调电压输出接口。

图32

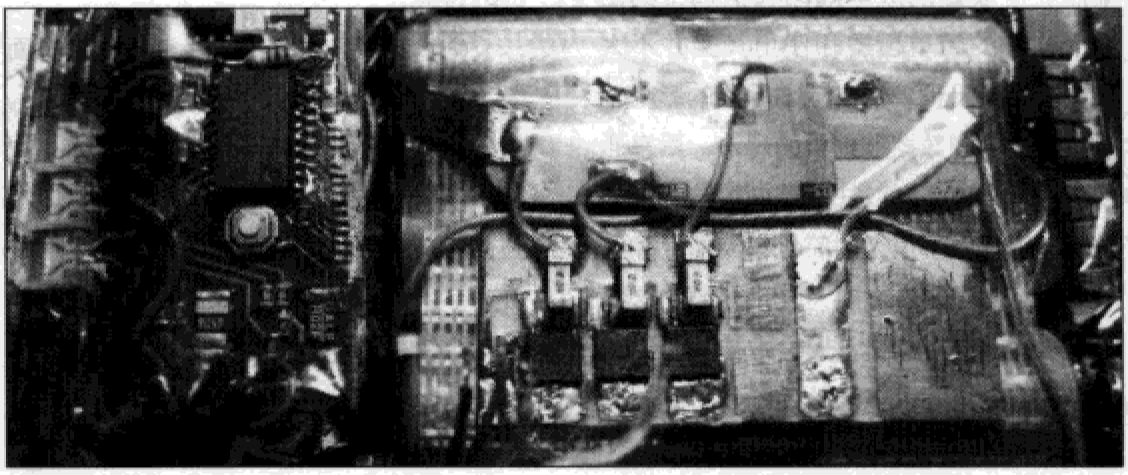


图31

12 上电测试，液晶屏上面一行显示电池电压、充电电流，插入外部电源时显示外部输入电压，下面一行显示负载电压、负载电流，如图33所示。

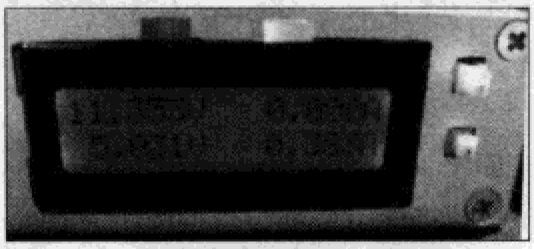


图33

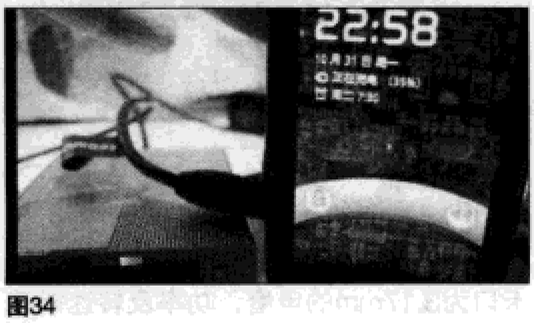


图34

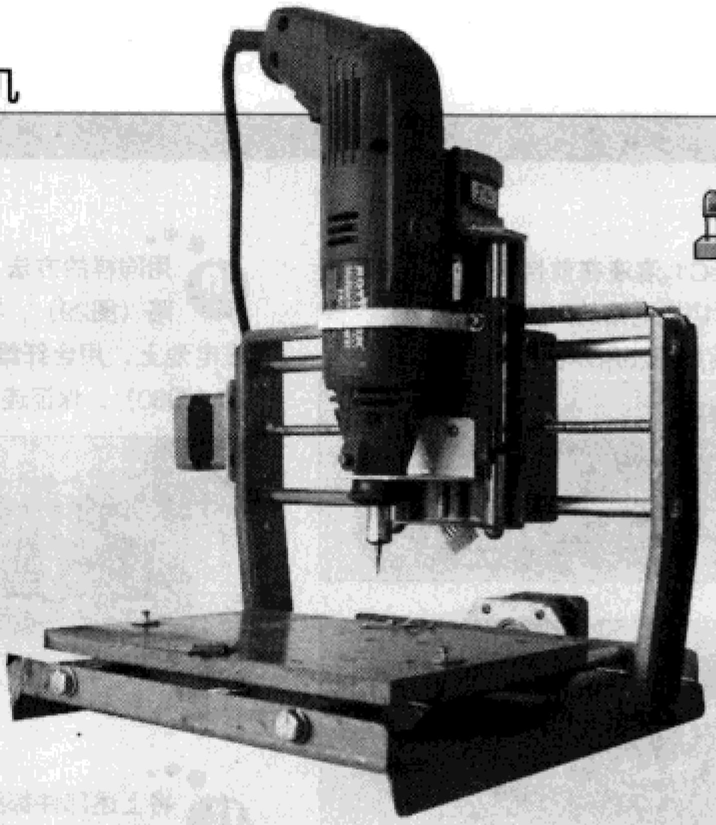
13 试着给手机充电，通常手机屏上可以显示充电的状态，说明已经开始在充电了（图34）。此时，液晶屏上可以显示当时的外部充电电压和充电电流（图35）。

图35

这个移动电源的制作，从选材到成品，耗时3周，笔者从中体验了许多DIY的乐趣，为了提高稳定性，我采用的全是正品大厂元件，目前使用情况良好。如有错误或改进之处，欢迎广大读者批评指正。

矿石收音机论坛DIY大赛一等奖作品

自制低成本的数控雕刻机



◇于世舟（BD2QBW）

提到数控雕刻机大家就会联想到它那高昂的造价，复杂的编程操作，给人以高深莫测的感觉。制作数控装置的难点在于装置的成本高昂和机加工的困难，软件的简单设置和使用其实并不太难。笔者自己也曾受高成本因素的影响，不太接受自制数控雕刻机的想法，后来通过学习与思考，对以往的雕刻机结构中的光杠及丝杆做了很大的简化，大幅度降低了成本制作出了本文要为大家介绍的这台低成本的数控雕刻机。通过本文的介绍，爱好者们完全可以自己动手制作出简单、低成本的数控小装置，而且笔者相信，这个制作可以使我们从单一的电子爱好领域拓展到机电一体化的新领域，并轻松入门数控技术。先来说说这款微型数控雕刻机的特点。

❶ 龙门式结构稳定性好，加工幅面大，小巧的台式设计，可置于书包内携带。

❷ 可以对PCB、PVC、压克力、密度板以及木材等非金属材质进行平面雕刻，完成如图章、3D浮雕、线路板等的雕刻，还可以用双色板来加工仪器仪表的面盘，使其制作的机壳接近正规产品。

❸加工精度可达 0.1mm，能满足绝大多数的 PCB，图章、标牌的加工要求。

❹它的成本很低，材料费只有 100 ~ 150 元人民币，加工制作方便容易。

❺ 所用的材料都是日常能找到或买到的，选材方便。

❻ 制作过程不需要太复杂的工具，会用到的工具包括台虎钳、电钻、手锯、样冲、丝锥、铰刀、卡尺、不同直径的钻头以及螺丝等。

❼ 自制的接口驱动板采用洞洞板结构，且制作容易，成本低。

❽ 为了降低成本，主轴电机直接采用3.17mm的电磨，经过测试，精度在可以接受的范围内。

第一篇 1 机械结构

这台雕刻机采用了固定龙门结构，如图1所示，整机分为底台、龙门架、*x*轴拖板、*y*轴工作台及*z*轴拖板。在底板上固定着*y*轴工作台的驱动步进电机、丝杠及作为*y*轴工作台滑动导轨的两根光杠及龙门架。在龙门架上固定着*x*轴拖板的驱动步进电机、丝杠及作为*x*轴拖板滑动导轨的两根光杠。在*x*轴拖板上固定着*z*轴拖板的驱动步进电机、丝杠及作为*z*轴拖板滑动导轨的两根光杠。在*z*轴拖板上固定电主轴的L型固定架及U型卡环。在*x*、*y*、*z*三轴的拖板上焊接着与丝杠配合的螺母，如图2所示。为了降低制作难度及成本，

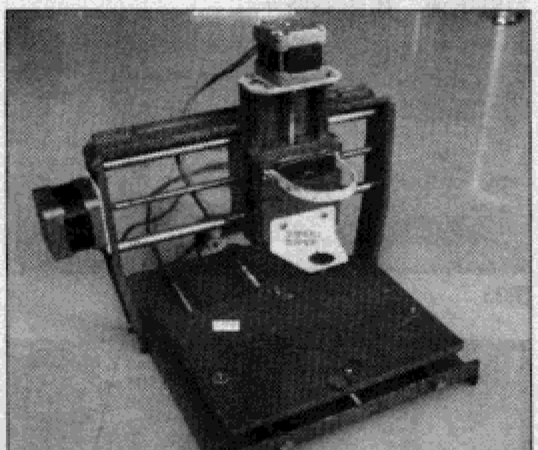


图1 雕刻机的正面结构

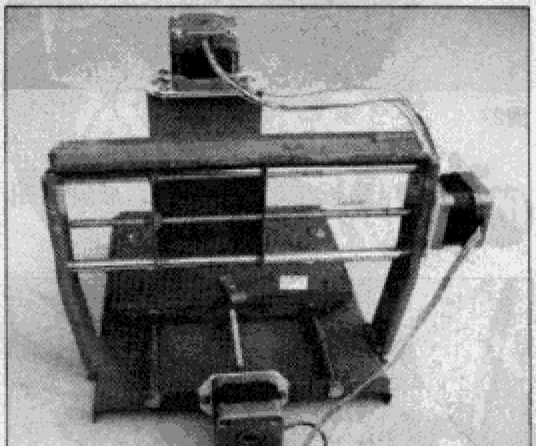


图2 雕刻机的后侧结构

丝杠没有消回差装置，主轴电机直接采用卡口为3.17mm的电磨，功率及转速能满足要求，雕刻机的精度也在可以忍受的范围内。

第一篇 1 接口驱动电路图

电路如图3所示，电路由x轴、y轴、z轴三个完全相同的步进电机驱动部分组成。现在以x轴为例来说明其工作原理，电路主要由两块步进电机专用驱动集成电路L297和L298 组成。

L297的主要功能是脉冲分配，在其输出端A、B、C、D产生输出逻辑脉冲推动L298。L297还设有两个PWM斩波器来控制相绕组电流，实现恒流斩波控制，以获得良好的转矩频率特性。从HDR1（2脚）来的x轴脉冲进入IC1（L297）的CLOCK（18脚），经过IC1的处理，在其输出端A、B、C、D（4、6、7、9脚）产生输出逻辑脉冲，进入 IC2（L298）驱动双H桥，在其输出端（2 、3、13 、14脚）输出步进脉冲，带动步进电机旋转。

L298是双H桥高电压、大电流功率集成电路驱动器。利用L297与L298组成一个完整的驱动系统，可驱动两相步进电机，最高电压为46V，每相电流达2A。IC1的SYNC（1脚）是同步脚，连接IC3、IC5的1脚实现多片L297的同步，IC1的ENABLE（10脚）使能控制脚，控制输出逻辑，它为低电平时，INH1、INH2、A、B、C、D均被强制为低电平，使L298驱动器不工作。CONTROL（11脚）用来选择斩波信号的控制，当它是低电平时，斩波信号作用于INH1、INH2上，而它是高电平时，斩波信号作用于A、B、C、D信号。前者适用于单极性工作方式，而对于双极性工作方式的步进电机这两种方式都可以采用。

S1、IC1的VREF（15脚）为基准电压调整脚，调整此脚电压来整定步进电机相绕组峰值电流。IC1的CW/CCW（17脚）是x轴步进电机旋转方向指定脚，由HDR1（6脚）来的x轴方向指定信号连接于此脚。HALF/FULL（19脚）为激励方式控制脚，高电平时为半步驱动方式，低电平时是整步驱动方式。RESET（20脚）是异步复位信号，其作用是将脉冲分配器复位。VD3～VD26是L298驱动器H桥的续流二极管。

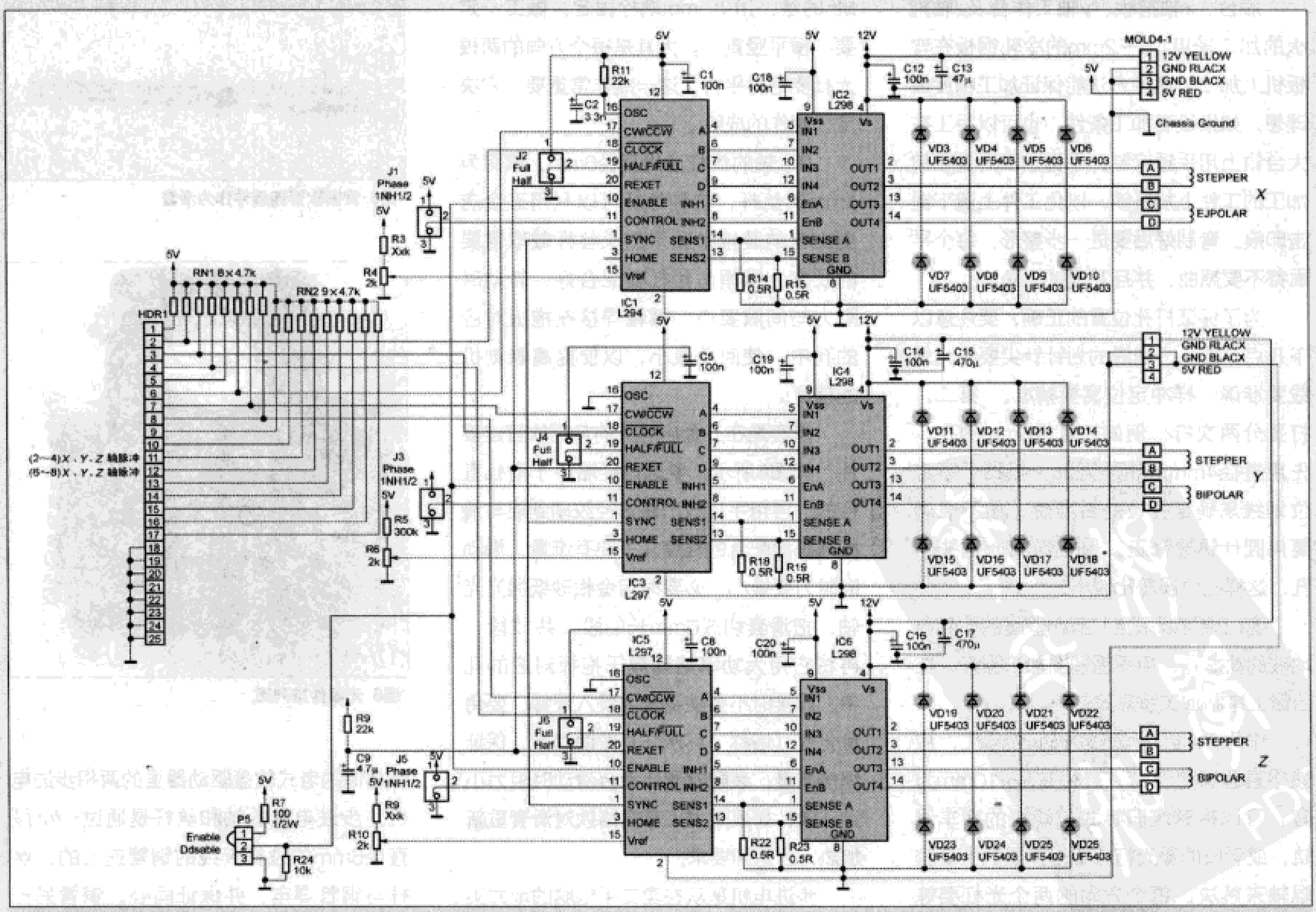


图3 接口驱动电路原理图

第一篇 1 雕刻软件

这台机器使用的雕刻软件分为两个部分：CAD/CAM设计绘图生成刀路，KCAM4控制雕刻机加工。

CAD/CAM软件则相当多，这里选用的是国产的“文泰”，它安装、使用都很方便，可以实现平面、3D立体雕刻，如刻章、仪器仪表的面板、PCB、浮雕等的设计绘图以及生成加工刀路都能完成，图4所示是“文泰”软件的界面。常用控制雕刻机加工的软件是MACH3、KCAM4等。这里选用KCAM4是因为它的设置容易，界面简单，能对原图进行缩放等。现在已有汉化版的KCAM4。图5所示是KCAM4的工作界面。

图4 雕刻软件的应用界面

图5 KCAM4的工作界面

第一篇 1 加工制作

底台、x轴拖板、y轴工作台及z轴拖板的加工采用1.5～2mm的冷轧钢板在弯板机上加工，这种方法能保证加工精度最理想。如果没有加工条件，也可以手工在大台钳上用手锤弯制，手锤加工时要在被加工的工件上加垫铁，以免工件上留下锤击印痕。弯制好后要进一步整形，每个平面都不要翘曲，并且互成90°角。

为了保证打孔位置的正确，要注意以下几点：第一，划线的划针针尖要细，划线要准确，样冲定位窝要精准。第二，打孔分两次打，例如打直径6mm的孔，先用直径4mm的钻头打孔，根据十字定位划线来确定孔位是否准确，如不准确要用圆什锦锉修正，最后用6mm钻头扩孔，这样孔位误差比较小。

龙门架可以采用1.2mm壁厚的防静电地板的铁龙骨，用手锯按图加工锯开，在台钳上弯制加工整形完成。

作为x、y、z三轴导轨的光杠，应该平直且表面光滑，直径在8～10mm为宜。可以拆解废旧针式打印机的字车滑轨，或者旧的激光打印机墨盒里的上墨胶辊轴来解决。每个方向的两个光杠要等长，断面要平整，在其断面中心钻孔攻M5的丝，用Φ5mm螺栓固定，做工一定要“横平竖直”。尤其是每个方向的两根光杠要绝对平行，这一点非常重要，它决定了制作的成败。

3个轴的丝杠选用直径6mm、螺距为1mm的丝杆，这种丝杆可以利用五金店里出售的装修吊顶用的长丝杆截取需要的长度，螺帽与丝杠要配合好，转动时阻力与间隙要小，螺帽焊接在拖板对应的孔中，使回差最小，以便提高雕刻机的精度。

滑套是在五金店购买的黄铜软管连接件，如图6所示，要选内径略小于滑杠直径的，再用手工铰刀将内径绞刷到能与滑杠精确地配合的程度，不要有逛量。滑动时阻力要很小，必要时用金相砂纸抛光光轴，把滑套切成6mm长的段，共12段，再将它用大功率烙铁焊于拖板对应的孔中。焊接时不要使滑套内侵入焊锡，要用氯化锌（俗称“坏水”）做助焊剂，保证焊接质量。装配时要让滑台滑动时阻力小且一致，如果阻力大可用烙铁对滑套重新加热，以达到要求。

步进电机是从在卖二手电脑的地方买的旧160K针式打印机上拆下的EM-44型，

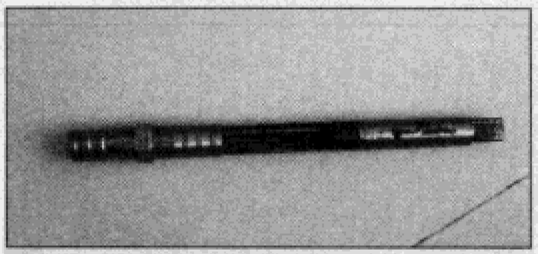


图6 黄铜软管连接件作为滑套

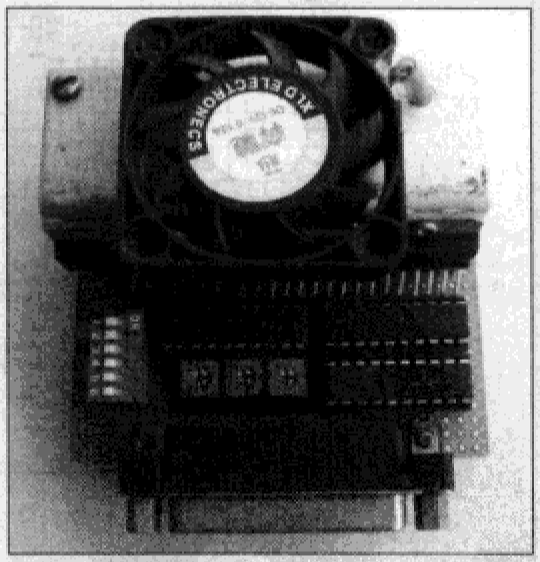


图8 元器件排列图

及相似的老式软盘驱动器里的两相步进电机。步进电机的轴和丝杆是通过一小段直径6mm的拉杆天线的铜管连上的，丝杆与铜管焊牢，并保证同心。铜管另一端套入步进电机轴，再横向钻一小孔，

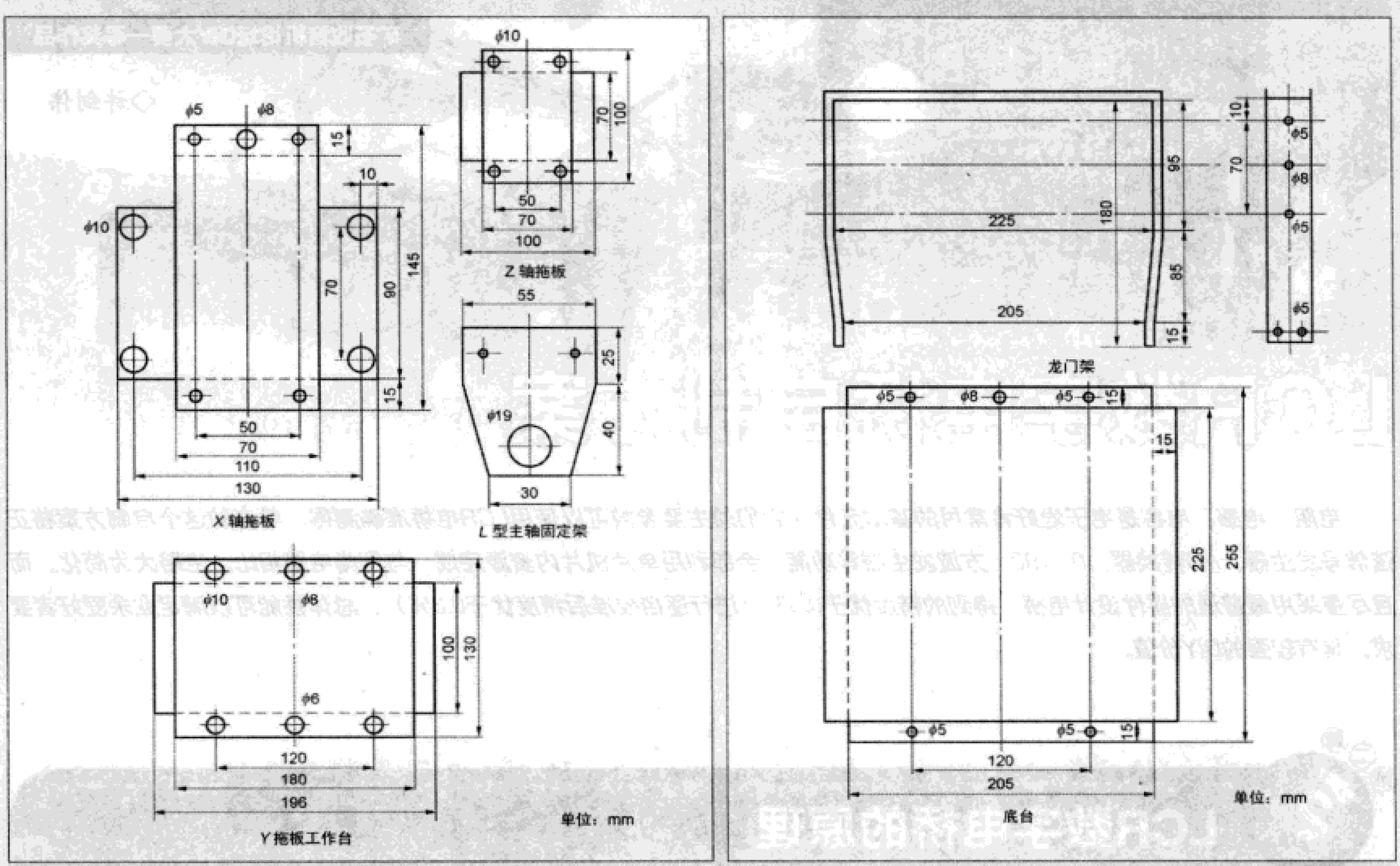


图7 部件加工尺寸图

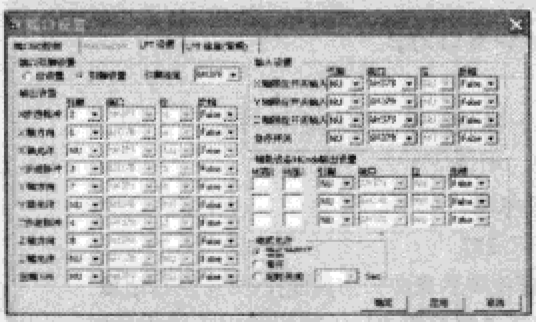


图9 端口设置

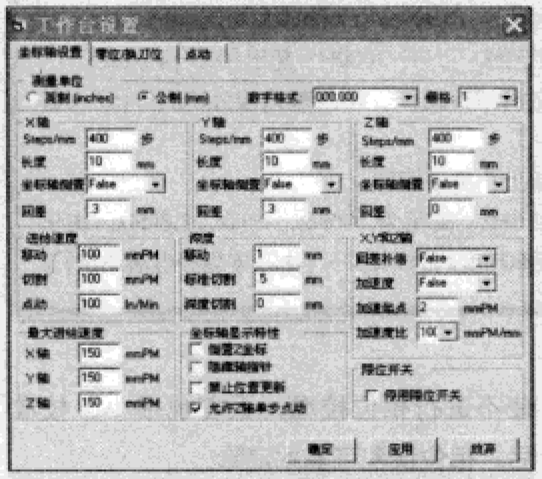


图10 工作台设置

插入销钉固定，丝杆另一端是螺母，焊接于拖板上。

这个雕刻机根据自己手边材料的大小，制作出的尺寸灵活掌握，但整机最好不要太大，以免钢性差。图7所示是各金属部件的加工尺寸图。

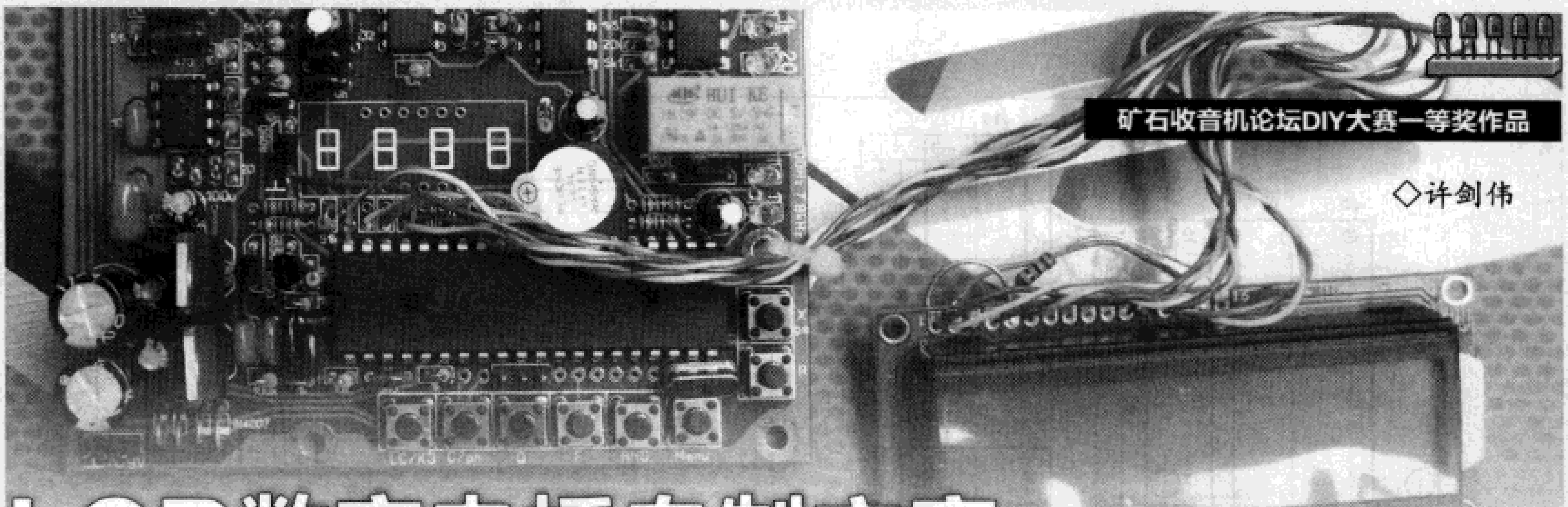
自制的接口驱动板电路实物如图9所示。采用的集成电路L297和L298是在网上邮购的二手拆机件，其余元件各地都能买得到，VD3～VD26要用2A/50V的高速二极管。驱动板的工作电压为12V，采用12V/2.5A直流稳压电源供电，图中5V电压通过7805在12V中取得。整个电路采用洞洞板飞线焊接而成，体积很小巧。因为步进电机的力矩不是很大，所以我去掉了保护行程的开关，从而简化了电路，只要元件良好、连线无误就可正常工作。接口驱动板总体造价大约在25元。

安装时首先将元器件插入洞洞板对应的孔中，用25W电烙铁将引脚焊好，在洞洞板反面用0.13mm的助焊漆包线按原理图焊接好，L298 H桥的大电流输出端、电源供电端应该用0.5mm漆包线焊接。

安装好KCAM4软件后要进行KCAM4的设置。首先进行端口设置。按照原理图中HDR1接口的功能排列进行设置，打开KCAM4→设置→端口设置→LPT设置→引脚设置，如图9所示，之后进行工作台设置，打开KCAM4→设置→工作台设置→坐标轴设置，如图10所示。

使用方法

这款雕刻机的使用主要还是软件的使用，例如，首先用文泰设计出雕刻图案字体，然后进行2D或3D转换，最后生成刀路图保存。将保存的刀路图录入KCAM4，设置好原点及参数就可进行雕刻作业了。



矿石收音机论坛DIY大赛一等奖作品

◇许剑伟

LCR数字电桥自制方案

电阻、电感、电容是电子爱好者常用的基本元件，它们的主要参数可以使用LCR电桥准确测得。笔者的这个自制方案将正弦信号发生器、AD转换器、0°/90°方波发生器等功能，全部利用单片机片内资源完成，与同类电路相比，电路大为简化。而且尽量采用最普通的器件设计电桥，得到的精度优于0.5%（进行逐挡校准后精度优于0.3%），总体性能可以满足业余爱好者要求，具有较强的DIY价值。

第二篇 2 LCR数字电桥的原理

本制作的系统原理图见图1，电路原理图见图2。限于篇幅，设计中用到的测量原理及单片机编程思路本文就不再详述，感兴趣的读者可以到《无线电》网站www.radio.com.cn下载了解。

本电桥是采用电阻校准幅度和相位的。引入了V/I变换器，对高阻挡校准有利。100k挡相位校准时，$R=Zx=100k\Omega$，

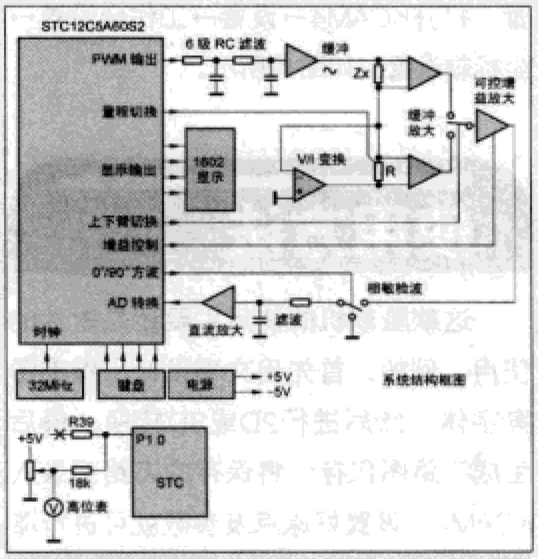


图1 系统结构图

基本特点

AD字数：1000字，采用了过采样技术，有效分辨力约为4000字
测量方法：矢量法，自由轴。
主要测量范围：1Ω～0.2MΩ，精度0.5%（理论），实测比对，均未超过0.3%
有效测量范围：2mΩ～10MΩ，最小分辨力为0.5～1mΩ
串联残余误差：小于2mΩ，低阻测量时此误差不可忽略
并联残余误差：大于50MΩ，高阻测量时此误差不可忽略
***Q*值误差**：±0.003（*Q*<0.5），/300（*Q*>2，相对误差简易算法），其他按0.5%左右估算
***D*值误差**：±0.003（*D*<0.5），*D*/300（*D*>2，相对误差简易算法），其他按0.5%左右估算
ESR误差：|Z|/300电容*D*、*Q*测量适用于40pF以上，20pF以下*D*、*Q*精度变差很多。
开路、短路清零：用于高阻及低阻测量。
信号源幅度：峰值200mV（100Hz）、180mV（1kHz）、190mV（7.8kHz）
电感：分辨力0.005μH，有效分辨力0.02μH，测量范围0.1μH～1000H，超出1000H未测试。
电容：分辨力与夹具有关。夹具好的话，可以有效分辨0.05pF，不屏蔽只能分辨到0.1pF，甚至只有1pF。测量上限大于100mF电容。
简易夹具参数推荐：7～10cm长，7.5mm^{2}导线，接上小夹子即可。
频率精度：实际频率为99.18Hz、999.45Hz、7812.5Hz，简写为100Hz、1kHz、7.8kHz。由于DDS的频率分辨力有限，所以不采用整数频率。频率精度约为0.03%（由石英晶振电路决定）。

并联在上下臂的分布电容均只有几皮法。此外，由于虚地电位接近于零，所以虚地对地分布电容的分流可以忽略。因此，上下臂电压、电流基本相等，对称性好，即使不进行相位校准，误差也很小，校准后，相位误差可基本消除。

上、下臂电压分别通过“仪表三运放”缓冲放大后输出，图2中两组“三运

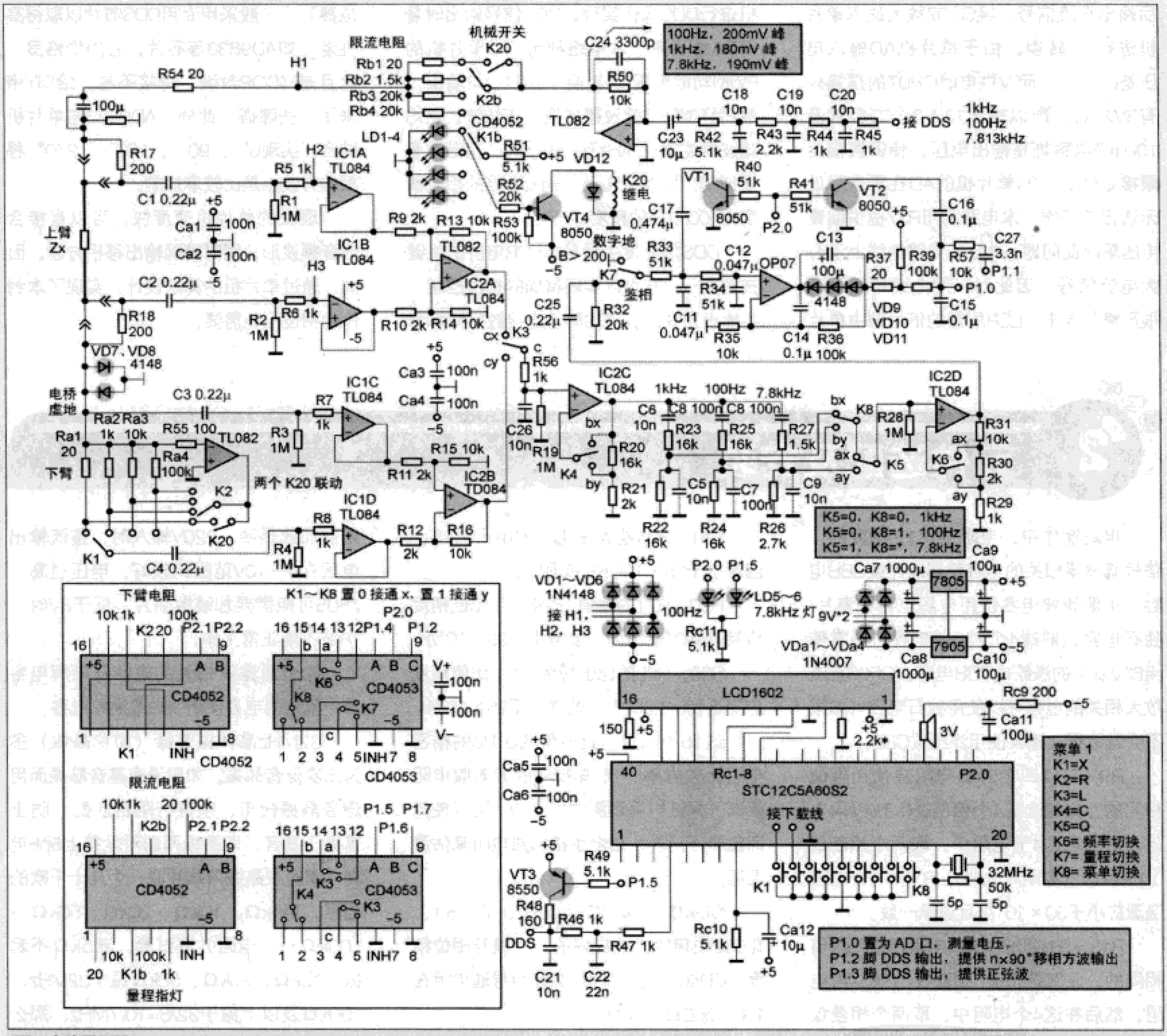


图2 电路原理图

放"分别是IC1A、IC1B、IC2A和IC1C、IC1D、IC2B。实际上，V/I变换器并不能保证在7.8kHz时虚地对地电压真正为零（尤是在低阻测量时），这就产生了共模干扰信号，所以"三运放"电路须有较强的共模抑制能力。

经K3切换上、下臂信号进入下一级放大。要使电桥更精确，上、下臂应使用"同一个毫伏表"进行放大（或者不放大直接进行相敏检波）。由于本电路AD的分辨力不足，保持良好精度的范围比较小。为了解决这个问题，后级可控增益对每个量程都启用，这样，各挡测量范围就增加了。启用了可控增益放大器，上下臂电压测量实际上不再使用"同一个毫伏表"，因此误差增大了50%左右。

两级可控增益放大分别由IC2C和IC2D完成，实现9倍和3倍增益切换，组合后得到1、3、9、27四种增益。

图中的3个带通滤波器及R56、C26可以抑制高频干扰，防止运放过载，同时减小工频干扰，使得末字跳动减小。此外，这一组滤波器对高次谐波有一定的抑制作用，对提高7.8k挡D值精度有一定帮助。设计滤波器须注意阻抗问题，高阻抗滤波器本身会受到电路板上的附加耦合的干扰，所以滤波电容的取值大于10nF。DDS滤波器的阻抗也不能设计得太小，道理与带通滤波器是一样的。

电子开关K7构成相敏检波器。检波

后输出直流信号，经OP07放大送入单片机进行AD转换。由于单片机AD输入电压是0～5V，而5V供电时OP07的摆幅只有3V左右，所以输出加入3个二极管及100μF电容垫高输出电压，使得摆幅上限接近5V。STC单片机的AD在零点附近无法正常工作，本电路利用R37提供偏置电压解决此问题。本LCR电路地线上没有大电流信号，因此对PCB地线布置没有很严格的要求。LCR所需的信号源由单片机进行DDS操作实现。DDS信号输出时需要DA转换器，本电路利用STC单片机的PWM功能实现DA转换，在P1.3口输出，然后经6阶RC滤波器转换为正弦波。DDS滤波器能够对1kHz及7.8kHz的三次谐波有效抑制，所以1kHz及7.8kHz两挡的相位精度比100Hz挡的精度好一些。

DDS信号发生器是本LCR电桥的关键技术之一，它可以实现精确的相位控制，并输出正弦波。DDS即"直接数字频率合成器"，一般采用专用DDS芯片以取得高性能，如AD9833等芯片。它的价格贵，而且是MSOP封装，焊接不易，给DIY带来了一些障碍。此外，AD9833与单片机结合，实现0°、90°、180°、270°移相的方波也是比较麻烦的。

现在的单片机速度快，可以直接合成音频波形，同时精确输出移相方波。因此，通过单片机的算法设计，实现了本制作的相位控制需要。

第二篇 2 元件选配及安装

电路制作中，电阻选用1%精度的，信号滤波器相关的电容使用涤纶或CBB电容。电源滤波电容使用电解电容和瓷片/独石电容。前端4个220nF电容，通常使用63V以上的涤纶或CBB电容。OP07直流放大相关的电容可以使用独石电容（如果不介意体积，建议使用涤纶或CBB）。

R9～R12四个2kΩ电阻应使用阻值相同的。先筛选出4个相差在0.3%以内电阻，然后在这4个电阻中，取两个相差仅0.1%以内的电阻作为R9、R12，4个电阻温漂应小于50×10^{-6}/K且温漂一致。

R13～R16四个10kΩ电阻请使用阻值相同的。先筛选出4个相差在0.3%以内电阻，然后在这4个电阻中，取两个相差仅0.1%以内的电阻作为R13、R16，4个电阻温漂应小于50×10^{-6}/K且温漂一致。

Ra1～Ra4建议使用误差小于0.3%、温漂小于25×10^{-6}/K的电阻

R20、R21的比值应为8:1，比值精度应筛选到0.3%以内，温漂小于25×10^{-6}/K

R30、R29的比值应为2:1，比值精度应筛选到0.3%以内，温漂小于25×10^{-6}/K

这16个电阻，直接使用0.1%的精密电阻比较省事。用1%精度的金属膜电阻筛选，需进行温漂测试。比如，可以使用四位半万用表，结合手指加热电阻来估测温漂。

CD4053(或HCF4053)、TL084、TL082使用频率响应好的，以提升相位精度。CD4052(或HCF4052)选用导通电阻在100～500Ω的均可。

电源变压器使用8V×2（大于5W）或9V×2（小于3W），其中7905与7805无需加散热器。220V输入时，整流输出电压在9～10V范围比较好。电压过高，7805可能需要加装散热片，低于8V时，7805不能正常工作。

除电源滤波相关的电容及电解电容外，其他的电容使用CBB或涤纶电容。

32MHz晶体振荡器（简称晶振）多为三次泛音晶振。如果没有基音晶振而用泛音晶振代用，须进行阻容匹配，防止谐振于基音，即晶振两端对地接上5pF电容，同时在晶振两端并联一个几十千欧的电阻。用5kΩ、10kΩ、20kΩ、50kΩ、100kΩ……电阻并联试验，若5kΩ不起振，10kΩ、20kΩ、50kΩ振于32MHz，100kΩ及以上振于32/3=10.7MHz，那么并联电阻取50kΩ即可。

第二篇 2 校准LCR表

◆ 校准前，请先检查信号源输出的幅度是否正确。

100Hz约200mV峰值，1kHz约180mV峰值，7.8Hz约190mV峰值。幅值大了10%不可以，小了10%不要紧。接线无误，100Hz与1kHz挡的幅值是确定的，无须调整，7.8kHz挡有可能偏差，请检查，如有较大偏差，请调整C24的容量。

◆ 校准之前，还需准备好几个电阻：

校准V/I变换器，需4个已知阻值电阻：20Ω、1kΩ、10kΩ、100kΩ，校准可控增益放大器，需两个已知阻值电阻：3.3kΩ、9kΩ。

1kΩ、10kΩ、100kΩ这三个电阻，应使用99xx真值的，不要使用10xx的。前

者校准分辨力是后者的10倍。

除了上述准备还应该进行增益状态的核对，然后再进行分项校准和AK校准。AK校准与STC单片机有关。笔者测试，大字体“STC”标识的，内部AD是高线性的，无需此项校准，AK置零即可。2012年开始生产的STC单片机是小字体“STC”商标的，内部AD线性度不好，需校正。详细的校准方法和注意事项可下载《无线电》网站www.radio.com.cn上的相关文件了解。

第二篇 2 制作要点

焊接是基本功，LCR表元件多，飞线多，焊接技术不过关，DIY本电路不易成功。这里讲到的焊接问题，包括元件引脚顺序、极性的识别、焊接技巧、飞线方法、检查连线正误的技巧、焊接质量、温度控制等。解决这些问题只有一两天的DIY经验是难以上手的，需要一定的时间积累。因此，从来没有DIY经验的朋友，不要用洞洞板制作，建议直接打样PCB，此制作的PCB图见图3。

PCB或洞洞板布局时，应把数字部分与模拟部分区分开，应避免模拟电路“围绕”着单片机，以减小数字干扰。

如果在PCB上焊错了，须从双面PCB板上取下元件。这要讲究技巧，以免伤了板子。集成电路更换，应把集成电路脚全部剪下来，然后一脚一脚地取下来。然后疏通焊盘。在板子正面，给焊盘补一点点带有松香的焊锡，然后再用烙铁加热焊盘熔锡，同时用竹牙签塞进孔中，只需一两秒钟。这个方法速度快，但会在板子正面留下一些松香。也可以用无用的电阻引脚，在板子背面向正面单方向疏通，此法效果差，但不易在板子正面留下焊渣。注意处理方法，如果方法不对，把板子弄“花”了，仪表就准不了。

干燥地区建议防静电焊接。如果无法确定芯片质量，相敏检波的CD4053及STC单片机建议加插座，更换容易。

由于工艺上的问题，DIY的板子抗潮能力有限，潮湿天气不易达到0.3%指标，甚至可能降到1%。南方潮湿地区，

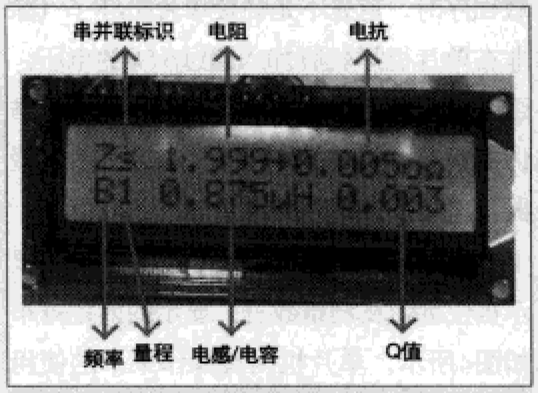


图4 LCR数字电桥的测量显示

建议做好防潮处理。板子上的松香等焊渣，在高度潮湿的天气（瓷砖、家具上面会出水的天气），会引起精度下降。先用木制器具或直接用指甲去除大部分焊渣，特别是相临焊盘之间的焊渣，再用天那水擦板，抗潮能力会明显提升。不要用棉球

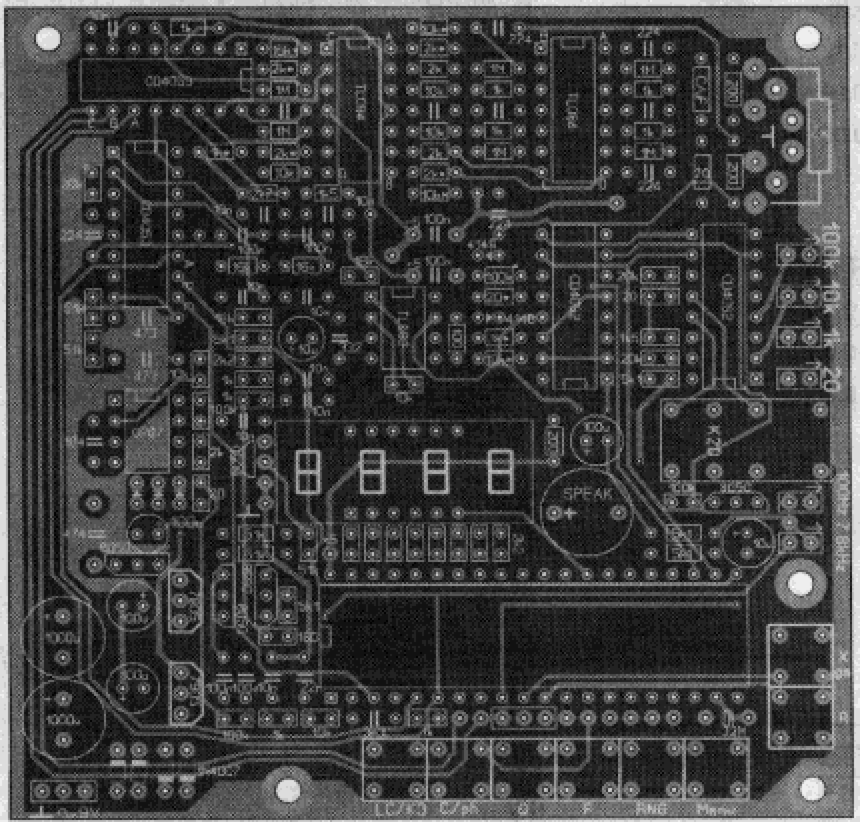


图3 LCR数字电桥的PCB图

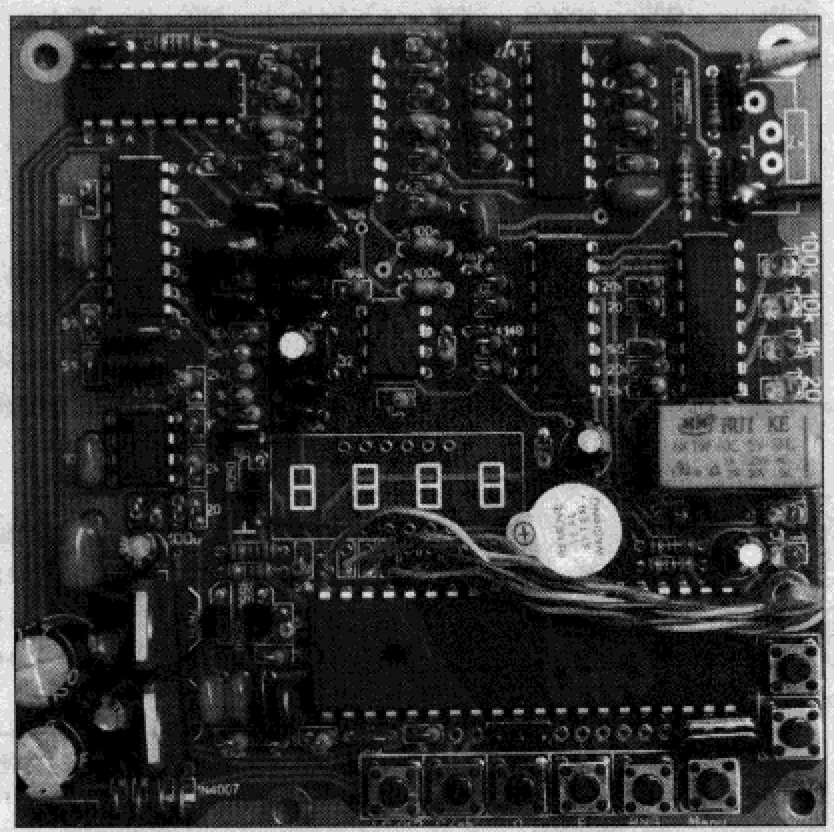


图5 制作完成的LCR数字电桥电路板

擦板子，棉丝会挂在板子上面，肉眼不易看到。

如果夹具采用两线法，测试线和线夹总长度应小于15cm。

装上单片机之前，请先检查7805、7905输出电压是否正常，以免损坏单片机。

下载单片机程序时，电脑会显示出晶振的频率。也可以使用有源晶体振荡器，将时钟信号接入单片机的19脚。无法下载程序时，首先不是怀疑单片机坏了（除非在单片机第40脚加入超过5.5V的电压，否则单片机不容易坏的），而应先确认晶体振荡器是否正常起振、串口/USB下载器、电脑软件是否正常。

单片机同时也控制LCD1602屏幕，显示挡位标识及测量数据，显示的内容排布如图4所示。单片机内置操作菜单的使用方法本文就不一一详述了。

图4中，第一行第1个，显示为*Zs*或*Zp*，分别表示串联法与并联法。接下来两个数表示电阻分量*R*与电抗分量*X*。在串联模式下，单位显示在行末，两个数值的单位相同。并联模式下，两个数字都有各自的单位。第二行第1个字母为A、B或C，分别表示100Hz、1kHz、7.8kHz，第2个字母表示量程，分别是1、2、3、4，代表20R、1k、10k、100k四个挡。后面的两个数分别表示电容（或电感量）和*Q*值。

制作时，应注意TL082第1脚信号输出的幅值是否在设计规定的范围内。用频响较好的万用表测量即可。

记住这个评估技巧：电阻能够测准，电容与电感自动准。*Q*值精度要求高的，校准后还需要进行高*Q*电容比对，并微调相位参数。*Q*>300的，在本表上无法准确测量。要提升*Q*>300的测值可信度，建议用CBB/630V电容验证。如果不能显示为999，只显示为500或更低，此时可以微调相位参数。

图2电路中的“可选电路”是为了提升100Hz下的相位精度。该频率下，主要用于测量电解电容，对*Q*值精度要求不高。如果希望CBB/630V电容在100Hz下也测出999，可选电路不可省略。加入可选电路，100Hz的信号幅度会下降一些。

屏幕上有的参数乱跳是正常的，软件中没有屏蔽乱跳的参数。选好量程是关键。如果试图用1kΩ挡去测量0.01Ω的电阻，肯定显示乱跳值，应使用20R挡。电桥的使用细节很多，请参考成品电桥的用法或说明文档。

首次下载程序，电桥是无法工作的。请参考“校准”部分。本表可以测到几毫欧的电阻，误差约1mΩ，因此，勿忘测试毫欧电阻的测量情况。

制作完成的电路是如图5所示。

第二篇 2 作品实测

表1 电阻实测

电阻	量程	100Hz	误差	1kHz	误差	7.8kHz	误差	备注
996.2m	20R	994.4±4	-0.18%	995.2 +1	-0.10%	995.0±1	-0.12%	四线，串联
10.003R	20R	10.00 +1	-0.03%	9.995 +1	-0.08%	9.994±1	-0.09%	二线，短清
100.05R	20R	100.1±0	0.05%	100.1±0	0.05%	100.0±0	-0.05%	二线，串联

表2 电容实测

频率	类型	容量	*Q*	量程	*C*测值	*Q*测值	*C*误差	*D*值误差	备注
7.8kHz	排针	0.21pF	17	100k	0.19pF	5	-0.03pF	0.1412	插座，开清
7.8kHz	未知	1001.0pF	>2000	10k	999.5 +1	999	-0.15%	0.0005	二线，开清
7.8kHz	CBB/630V	97.00nF	>2000	1k	96.95±1	999	-0.05%	0.0005	二线，串联

表3 电感实测

频率	类型	LCZ1062测值	自制LCR测值	单位	误差
7.8kHz	空心线圈	441.60	442.4	μH	0.18%
7.8kHz	短波小磁棒	56.00	56.10	μH	0.18%
7.8kHz	低导磁率高频磁环	2.910	2.900	μH	-0.34%

制作完成后，笔者进行了作品的实测比对，如图6、图7所示，部分实测数据比对见表1~表3。

更多关于本制作的详细资料，可到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载。

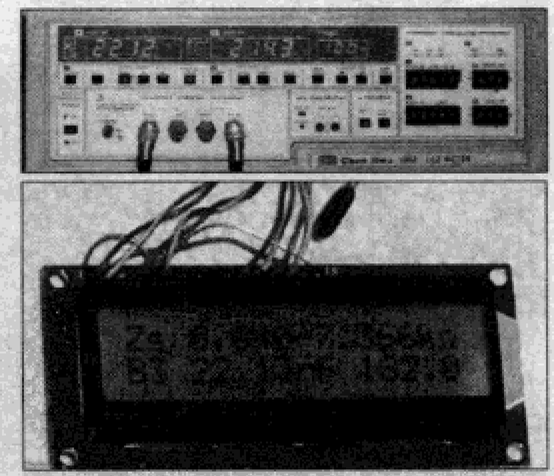


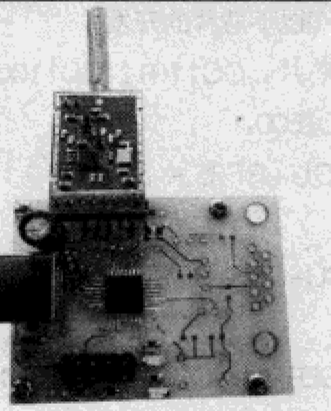
图6 与精密电桥比对，测试22.12nF涤纶电容

图7 与2Ω精密绕线电阻比对

◇杨伟民

矿石收音机论坛DIY大赛参赛作品

TI的CC系列射频芯片通信精简开发工具DIY



无线通信相比有线通信最大的优势是传输的距离远，随着半导体工艺和芯片集成度越来越高，以及移动通信、卫星通信的网络化高速发展，现在无线通信已经很成熟了，而且通信频率大大提高，达到了3GHz甚至更高。无线射频通信日新月异，被广泛应用到各行各业中，如3G手机、卫星电话、卫星电视、中国的北斗GPS定位系统、Wi-Fi等。

著名的射频无线芯片厂家及其产品有TI 生产的CC系列、NORDIC生产的nRF系列以及SILABS生产的SI系列等。从事高频无线通信的设计与应用需要很多理论和实践经验，设备工具要求也很高，比如需要拥有示波器、频谱分析仪、信号源等！但许多无线电爱好者并不具备这些昂贵的开发工具，目前比较有效的办法是购买成熟的射频通信模块来学习和应用，可以节省时间和资金。

我国使用TI的CC系列的用户比较多，CC系列的无线射频芯片可以工作在315MHz、433MHz、866MHz、2.4GHz等频段，比中波、短波、调频、普通电视台等的频率高了不少，开发难度也提高了不少！高度的集成化、数字化，老外在这方面很厉害，领先不少！我把自己的这点成功经验拿出来与大家共同分享，希望大家能够喜欢。

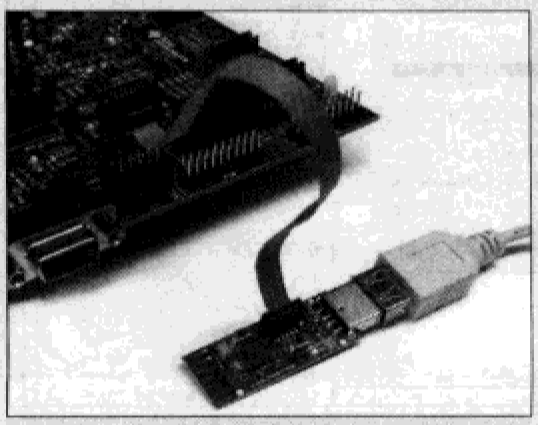


图1 TI smartRF04EB的评估板

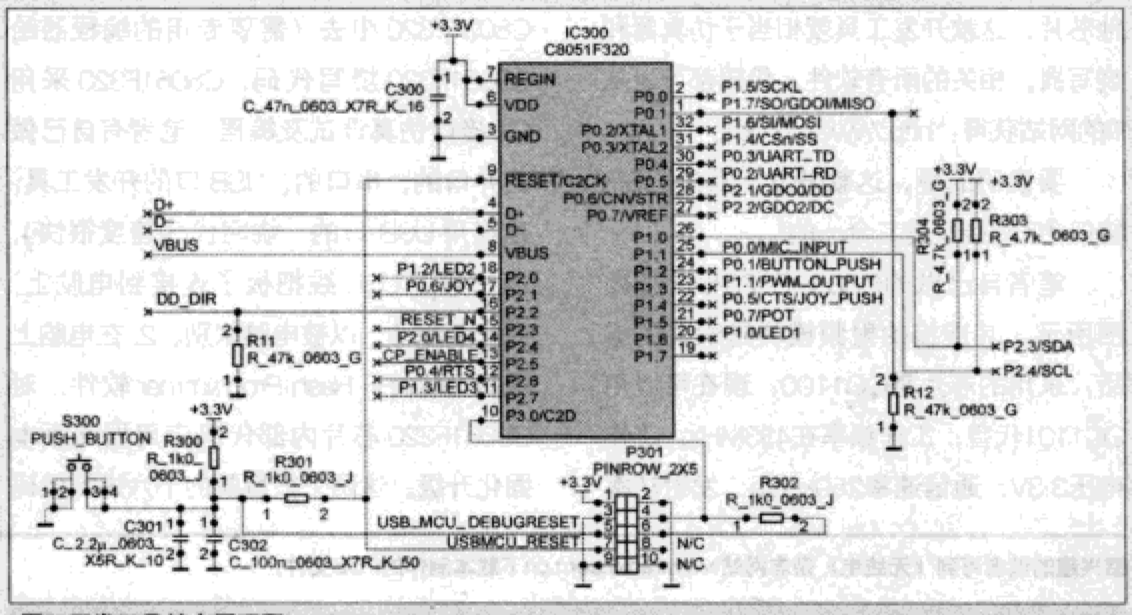


图2 开发工具基本原理图

尽管射频通信芯片已经高度集成化、数字化，开发比以前容易，但高频电路对初学者来说，还是很困难的！由于通信频率很高，所使用的芯片体积尺寸很小，电阻、电容、电感、晶体振荡器等表贴器件也都很小，自己制作可能难度较大。因此，推荐初学者购买成品的通信模块来应用，且价格现在也不贵。

如何根据应用需要，对成品的通信模块进行参数及功能设定，比如让通信模块具有在某个频段的通信能力，就需要用到相应的设备或者开发工具。根据笔者的经验，这类开发工具是可以DIY的，本文介绍的就是一款精简的开发工具。

这款精简开发工具是由TI smart RF04EB的评估板改进而来的。开发工具的核心芯片采用C8051F320，带USB通信功能。用笔者以前做的C8051F320板+CC1100/CC1101模块来实际测试，验证成功，应该算得上很简洁的了。

笔者制作的精简版本是针对官方开发工具改进的，基本原理和官方的一样，裁掉了不需要的元器件，属于最小系统，体积小，成本低，不过需要大家对C8051F320芯片有详细的了解。开发工具的基本原理图，可以从官网下载得到，如图2所示。

按这个基本原理制作出来的这个开发工具可用于TI以下芯片的开发：

◆ RF芯片：CC1101、CC1100E、C1100、CC2500；

◆ MCU+RF芯片： CC1110、CC2510；

◆ MCU+USB+RF芯片：CC1111、CC2511；

◆ ZIGBEE芯片：CC2430、CC2431等。

第1种RF芯片CC1100/CC1101，不带MCU，可以通过4线的SPI 接口和C8051F320通信，只设定内部寄存器参数，不烧写程序！其余的CC系列芯片内部带有MCU，可通过CC接口烧写程序。

因此，除了第一种RF芯片，对上述其他芯片，这款开发工具就相当于仿真器和烧写器。相关的所有软件、代码都可以从TI的网站获得：http://www.ti.com。

要说明的是，这款开发工具里，SPI接口 和CC接口是二合一的。

笔者自己做的C8051F320板，如题图所示，其连接的射频模块是购买的成品，采用的芯片是CC1100，现在可以用CC1101代替，工作频率在433MHz，工作电压3.3V，通信速率250kbit/s，发射功率可以达到+10dBm。

制作好此开发工具后，先要在电脑上安装3个软件：

◆ SmartRF Studio 软件，采用6.13版本，其功能是对CC系列的射频芯片进行参数设定和通信测试。

◆ SmartRF Flash Programmer，目前的软件版本是最新的，功能是对C8051F320开发仿真芯片程序，版本固化升级以及对CC系列带MCU的芯片烧写应用程序。

◆ USB底层驱动程序。

这3个软件都可以从TI的网站下载到。下载了软件后，需要做的是：1. 先把核心 bootloader 十六进制代码烧写到C8051F320中去（需要专用的编程器给C8051F320烧写代码，C8051F320采用C2接口仿真调试及编程，笔者有自己做的并口的、串口的、USB口的开发工具，建议用USB口的，烧写代码速度很快），然后通过USB线把板子连接到电脑上，并安装驱动，以被电脑识别。2. 在电脑上运行 SmartRF Flash Programmer 软件，对C8051F320芯片内部代码应用程序版本固化升级。这两个很重要的十六进制代码在安装了 SmartRF Studio 软件后会在相应的目录里自动生成的。3. 连接无线模块运行 SmartRF Studio 软件就可以进行参数设定及简单的收发测试了！这个软件很大，具体的下载地址是：http://www.ti.com/lit/zip/swrc046。

把这个自制的C8051F320板连接上购买的成品射频模块，再使用电脑上已经安装的测试软件设定好基本参数后，就可以进行简单的发送和接收通信了。运行测试效果见图3~图5。

多个射频模块在一定频率的范围内，只需设定不同的参数就可以进行多信道通信，而不互相干扰，而且外围阻抗匹配电路不需要改动！比如，同样的2个射频模块可以工作在433MHz或430MHz通信频率上。

C8051F可以在KEIL C51下开发，需要安装补丁程序，也可以在SILABS IDE软件环境下开发，需要使用KEIL C51的编译器等。补丁程序、SILABS IDE软件、烧写程序软件等都可以在SILABS公司的网站下载到：

http://www.silabs.com/products/mcu/Pages/SoftwareDownloads.aspx。

感兴趣的读者可到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载本制作的PCB文件。

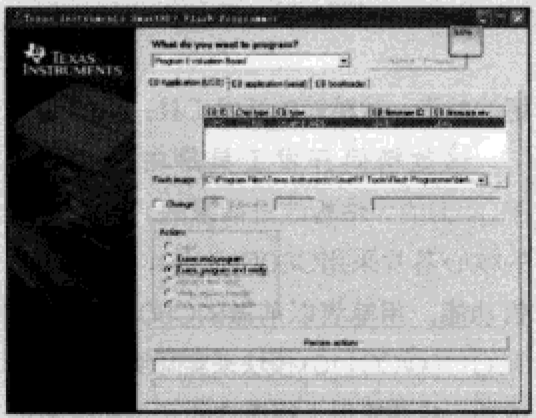


图3 成功升级C8051F320芯片内部代码后的显示结果

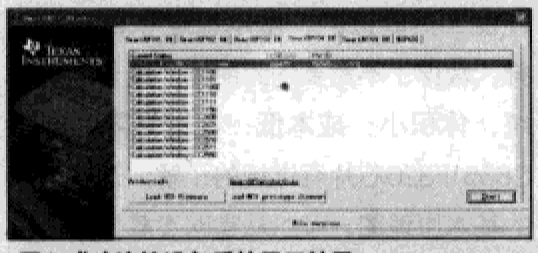


图4 成功连接设备后的显示结果

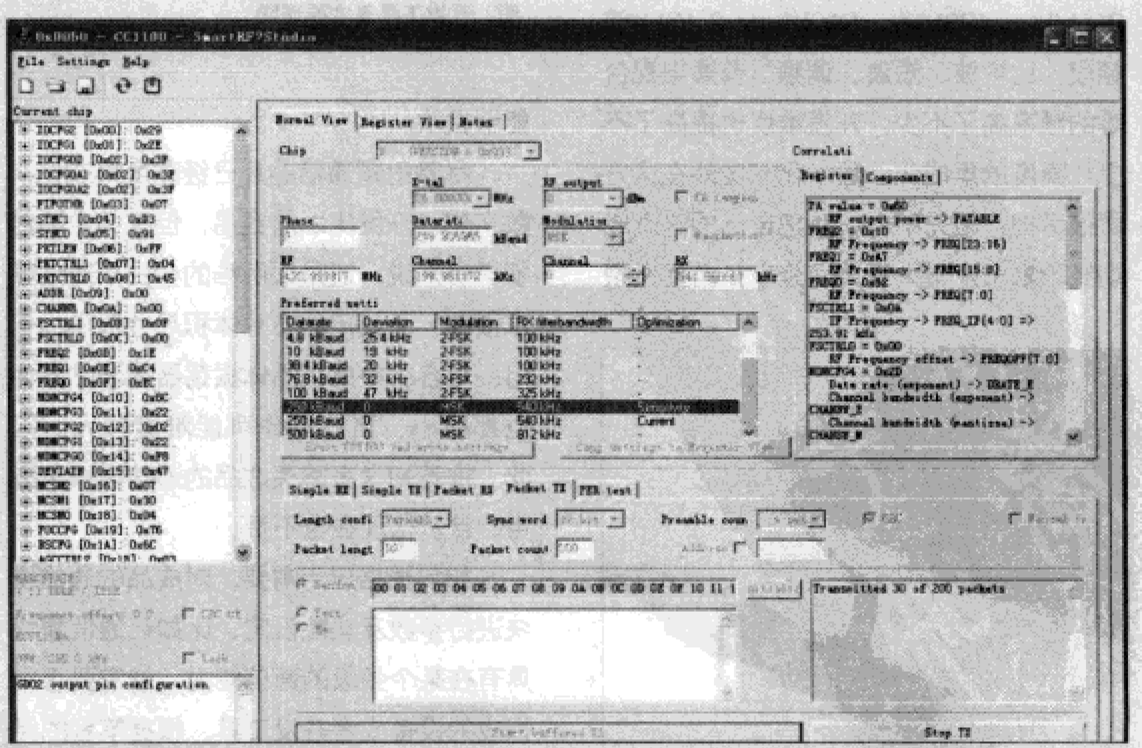


图5 设置参数以及发送数据的界面

矿石收音机论坛DIY大赛参赛作品

高压放电试验，安全第一！

用两只FU-33电子管打造电子管特斯拉线圈

◇张琦

特斯拉线圈是一种使用LC谐振原理的变压器。由美国科学家尼古拉·特斯拉在1891年发明，发明之初，他希望用这种线圈进行一些具有实用性且价值高的实验，例如进行无线电力传输等，但始终未能获得成功。特斯拉先生所盼望的这些实际用途至今都没有实现，由于缺乏实用价值，因此特斯拉线圈曾一度在科学史上默默无闻。然而，因为特斯拉线圈可以制造令人炫目的人造闪电，因此它慢慢进入了人们的视野。人们重新关注起这种奇特的装置，在世界各地，也随之出现了一批DIY特斯拉线圈的爱好者。

1904年，在特斯拉线圈问世十几年后，英国物理学家弗莱明制作出世界上第一只电子管，从此标志着世界进入了电子时代。

电子管存在着体积大、成本高、发热严重、寿命短，并且电源利用效率低、结构脆弱等问题，而且需要高压电源，目前已基本被晶体管、集成电路取代。不过由于它负载能力强，线性性能优于晶体管等原因，因此仍然活跃在音响、高频炉、以及高频发射机等领域，为Hi-Fi、无线电爱好者所熟知。

大功率电子管具有优秀的高频高压性能，与特斯拉线圈完美结合在一起，产生电子管特斯拉线圈（Vacuum Tube Tesla Coil，简称VTTC）。它的效果奇特炫目，电弧笔直，犹如利剑一般，有时，电弧四处散开延伸，产生壮观的电弧树，让人叹为观止！

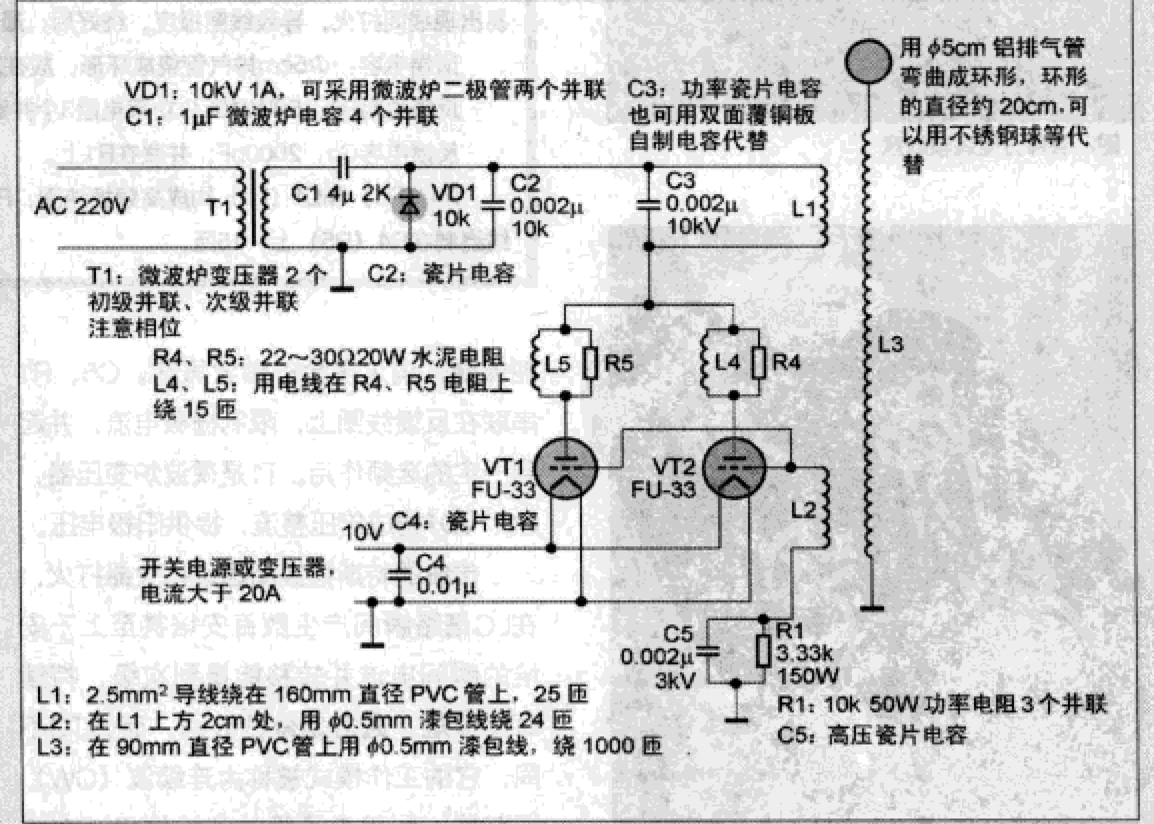


图1 电子管特斯拉线圈电路图

第四篇

4 基本原理

和传统的特斯拉线圈一样，电子管特斯拉线圈也是由初级线圈L1、初级电容C3、次级线圈L2、放电顶端构成的。电路形式是典型的单管自激。C4、C5是高频旁路电容，容量大约在数百皮法。操作时，切记防止损坏电源（尤其是二极管），如图1所示。

R4（R5）和L4（L5）构成一个高频扼流圈，消灭多余的谐波振荡。C5、R1串联在反馈线圈上，限制栅极电流，并起到一定的选频作用。T1是微波炉变压器，C1、VD1构成倍压整流，提供阳极电压。

传统的特斯拉线圈通过打火器打火，在LC槽路瞬间产生数百安培甚至上千安培的瞬间电流并转移能量到次级，持续时间很短，通常是微秒级别。而VTTC不同，它的工作模式被称为连续波（CW）振荡器。利用电子管的开关作用，在线圈内产生连续的振荡电流，频率通常在300kHz以上，在这些因素的作用下，产生出笔直的剑形电弧。

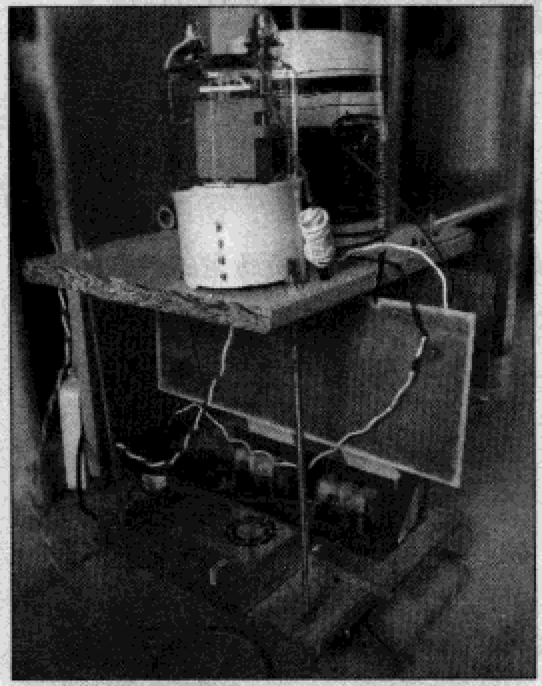


图2 各部分组装较随意

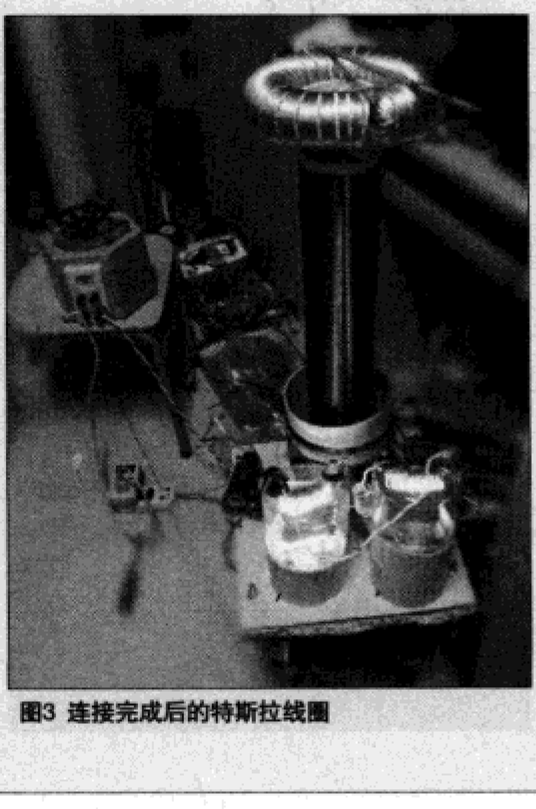


图3 连接完成后的特斯拉线圈

主要部件的选取和制作

功率管：功率管是VTTC的核心部件，它的功率大小决定了特斯拉线圈最终的效果。FU-33电子管是一款国产的直热式碳化钍钨阴极功率三极管，对应外国型号为833。额定灯丝电压10V，电流10A，阳极电压3kV，输出功率>800W。笔者从网上购得两只，并管使用，以获取强大的输出功率。

电源部分：作为一个标准的电子管设备，它需要高低压两路电源，一路低压给灯丝供电，另一路供应功率部分。

灯丝电源：两只FU-33共需要10V/20A的灯丝电源，笔者采用额定输出12V/29A的开关电源，调低输出电压到10V。

高压电源：本机功率较大，电压较高，综合成本和获取难度考虑，决定采用2个1000W微波炉变压器。微波炉变压器很容易从家电维修店处购买，开路时输出电压2200V，能在短时间内大功率输出，并且价格低廉。笔者用2个微波炉变压器并联，配合微波炉二极管、微波炉滤波电容、倍压整流，开路时可以获得近4kV的直流电压。

调压器：为了调试方便，在微波炉变压器前加入一个2kVA的调压器，控制电子管的阳极电压。

初级谐振电容：初级电容C3和初级线圈L1构成并联谐振电路。C3需要耐高压并承受并联谐振产生的巨大无功功率，不能使用普通的高压电容。电台使用的大功率瓷片电容无疑是最合适的，可惜价格昂贵，且不易购买。笔者采用一块42cm×20cm的双面覆铜板，腐蚀边缘代替，实测容量1500pF，非常合适。

初级线圈L1：2.5mm²电线在160mm的PVC管上绕25匝。

反馈线圈L2：Φ0.5mm漆包线在初级线圈上方约2cm处绕制24匝。

次级线圈L3：Φ0.5mm高强度漆包线在Φ90mm的PVC管上绕制1000匝，这是整个特斯拉线圈制作过程中最费时的工序，需要非常耐心，漆包线必须紧密缠绕且没有任何交叉，否则极易出现线间打火，导致线圈报废。绕好后，最好刷上一层绝缘漆。

顶端电容：Φ5cm排气管绕成环形，放在次级线圈顶端，再加上一个金属放电尖端。

反馈电阻R1：50W/10kΩ功率电阻3个并联，3.33kΩ/150W。

反馈电容C5：2000pF，并联在R1上。

R4（R5）和L4（L5）构成高频扼流圈，R4（R5）为22Ω，功率10W，L4（L5）直接用导线绕制在R4（R5）上，15匝。

安装和调试

由于制作时手边没有合适的管座，只好把电子管放在PVC管上，各部分的连接也比较随意，如图2所示。

所有组件都连接完成后如图3所示，先启动灯丝电源，预热电子管10min后，旋转调压器手柄到50V左右，拿一只电笔或者荧光灯管靠近次级线圈。如果亮起，说明电路正常起振，如果没亮，检查反馈线圈相位，调换接头即可。

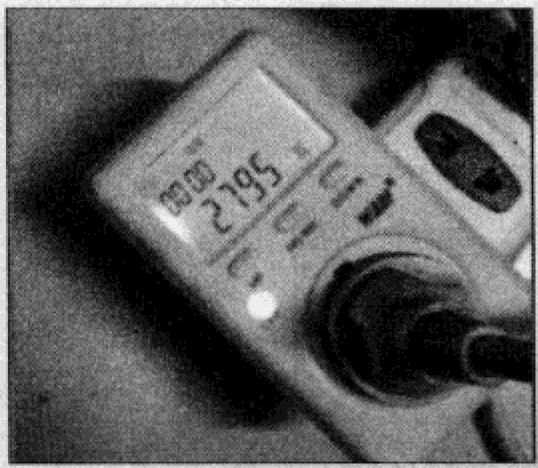


图4 整机耗电接近3kW

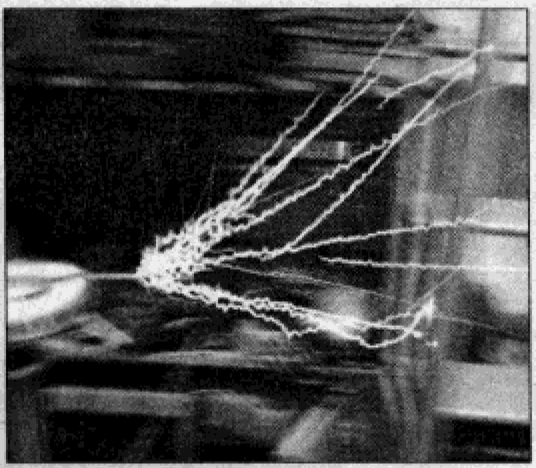


图5 特斯拉线圈放出炫目的电弧

效果演示

提升输入电压至220V，整机耗电接近3kW，如图4所示。可以看到特斯拉线圈射出一道道笔直的电弧，最大长度接近1m，如图5所示，并伴有工频轰鸣声。电弧可以轻易点燃纸张等易燃物品，因为我在房间内完成的制作，空间有限，还是有极大的安全隐患的，大家千万别随意效仿。进行这类高压放电实验时，一定要远离杂物和电子设备！

注意事项

该特斯拉线圈属于电子管设备。电子管需要使用高压电源，所以，在制作时，要做好高压部分的绝缘措施，以免漏电。关于电弧本身：由于工作在数百千赫兹，电流趋肤效应明显，并不会对人有明显的生理作用，但这并不意味着可以直接触摸电弧，电弧的热效应会引起灼伤。此外，线圈在工作时伴随产生电磁辐射，可能干扰附近的电器。

综上所述，开启特斯拉线圈时应远离易燃物品和各类电器，确保接地良好，人员与线圈保持数米距离（视功率大小而定）。有条件的情况下，可用接地金属网（法拉第笼）包覆设备，以进一步规避风险。

编后语

近年来，网上爱好者、发烧友论坛举办的DIY大赛的人气和水平日益提升。在今年1月份矿石收音机论坛组织的DIY大赛中，作品在原创性、实用性、创新性方面各有特色，这些特点也是评奖的重要依据。此外，作品的外观设计、电路设计、结构工艺等综合设计水平也是评选要素。

我们挑选了4个参赛作品组成专题，其中包含一等奖的两件作品及未获奖的两件作品。“DIY超低成本的数控雕刻机”所展示的制作方法，让我们知道，爱好者眼里高深莫测的数控雕刻机，也能用平民化的元件及工具来完成。“适合业余爱好者制作的LCR表自制方案”展示了在业余条件下设计与制造的可以达到商品级别的电桥，在难度、精准度方面都有一定的代表性。另外两个参赛作品分别侧重体现了作品的实用性和作者敢于实践的精神。

希望在今后的各种DIY大赛中，能有更多的优秀作品涌现，让我们的业余设计与制作水平“没有最好，只有更高”！

矿坛DIY大赛获奖名单

一等奖2名： DIY超低成本的数控雕刻机　作者：bd2qbw
适合业余爱好者制作的LCR表设计与制作　作者：xjw01

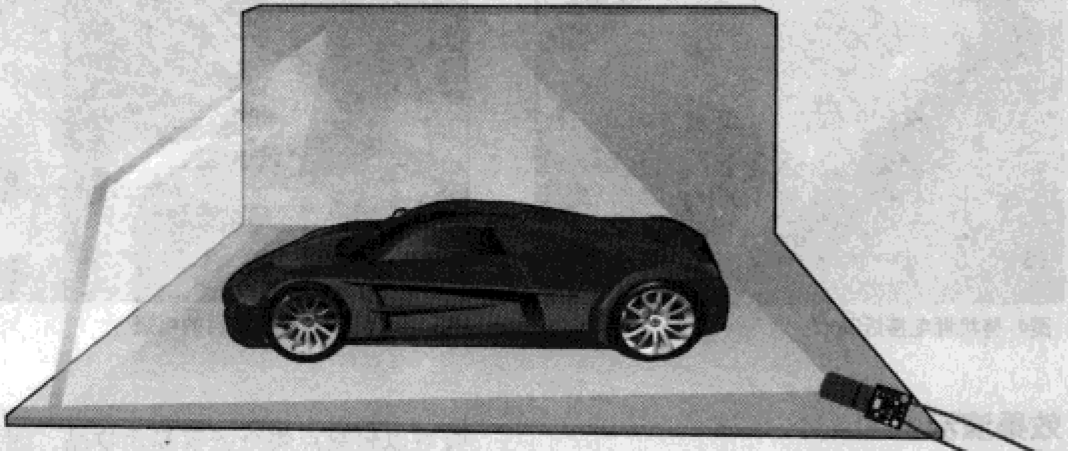
二等奖3名： 一台灵敏度高、音量大的FM矿石收音机　作者：bd1234567
自主充电扫地机器人　作者：bg4jkl
太阳能3DQ再生机　作者：L.D.XIONG

三等奖5名： 敬制“文革”特色矿石收音机　作者：延安沧桑
简易微型数字示波器　作者：ntwhq
DIY微型CNC数控雕刻机　作者：1971sam
胆FM收音机　作者：云天化
诱人的6N2+6P1靓声单端　作者：cytx

优秀奖9名： 用RDA5820制作数字FM对讲机/收音/发射一体机　作者：枫霞
全硬件的数显锂电池容量测量仪　作者：280445671
LTX1000恒温10V基准　作者：天风雪雨
锂电池手持LCR数字电桥　作者：at89s52
DIY一个PCB专用迷你台钻　作者：qie
自制大环天线矿石收音机　作者：zhaohaitao99
台式M8单片机多功能晶体管测试仪　作者：中国机器
自制6N2、6P1×2功放　作者：山东激光
蛛网矿石机　作者：hhyy99

打造不用戴眼镜看的3D照片

◇薛加民 插画：刘少冉



时下3D电影日渐流行，尤其是满地跑怪兽的科幻片，带上3D眼镜，我们就几乎“站”在了怪兽脚下。但当我们摘下眼镜，银幕上却只是和普通电影差不多的图画，而且还有些“重影”。这类的3D电影，只是利用人的视觉错觉来造成立体的效果。有些人甚至还无福消受这种3D方式，一看就会晕。有没有一种“老少皆宜”的真正的3D图画，不需要特殊眼镜，裸眼观看即可呢？有，这就是本文将要介绍的全息照相技术——通过一张特殊的胶片和一种巧妙的拍摄方式，真实再现物体的三维信息。

全息照相技术的概念是由英籍匈牙利工程师Dennis Gabor博士于1947年发明的，并获得1971年的诺贝尔物理学奖。有读者会问，为什么相隔了20多年才得奖呢？这是因为要实现全息照相需要用到相干光源，或者说激光，而激光的出现是在1960年之后了。早期的全息照相需要巨大而昂贵的激光器和分辨率极高的胶片，只有专家学者才能“玩”得起。后来到了20世纪末期，廉价的红色激光二极管的出现使得全息照相走入比较富裕的老百姓身边。再后来，一家美国胶片公司革新技术，生产出一种非常方便和相对便宜的全息胶片，使得人人都可以自己动手创造和目睹这一奇迹了。本文就以这两种低成本的材料为基础，介绍自制全息照相的过程及相关原理。首先让我们来领略一下全息照片的迷人风采。

全息照片VS普通照片

图1从3个不同角度展示了观看一张玩具小车的全息照片（笔者自制，图中的全息照片由红色激光照亮）。为了向读者证明图1中的小车只是存在于全息照片中，而没有实体，图2展示了激光关掉前后的景象。激光关掉后（图2右），小车的图像就消失了，只剩下一块略带彩色条纹的透明玻璃片，这正是我们的全息照片。图3则是这辆小车在白光（上）和蓝光（下）照明下的普通照片。蓝光照片的用意在后面的全息制作部分会提到。

图1 在红色激光照射下的不同角度的玩具小车全息照片

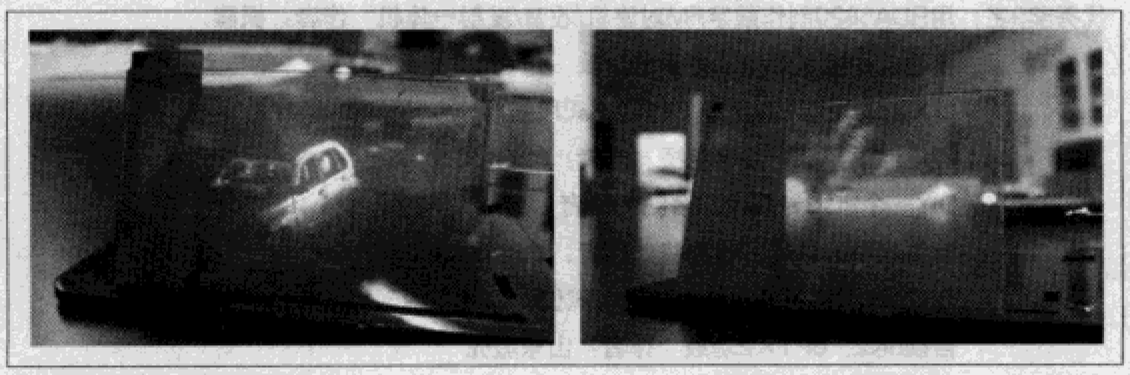


图2 激光关掉前后的照片对比

注意图1的第一幅图，从这个角度观看全息照片时，小车后轮被车身挡住了。观看者只需向右稍微偏一下头，就能从侧面看到后轮了（图1中的第三幅图片）。图3中，后轮也被车身挡住了，但是无论我们从哪个角度来看这张照片也不可能看到被挡住的后轮。这个细节生动地表明，全息照片记录下的是一个完整真实的三维物体。而普通照片只是把三维物体投影到了一个二维平面。

全息照相原理

根据拍摄物照明的方式，有几种不同的全息照相技术，但是它们的原理都是一致的。下面我们以本文将要介绍的拍摄方式来加以说明。

普通照相技术记录的是从一个物体表面反射的光的强度。以黑白照片为例，物体反射光越强，则在照片上显示就越白。普通照相对于光源没有什么特殊要求，只要有可见光照明的地方就能拍照。而全息照相技术的拍摄原理则完全不一样，如图4所示，它需要相干光源进行照明。激光就是一种很好的相干光源。

相干光源有这样的特点，假设相干光源向四面八方发出光波，它们形成一个球，那么在球面上任取两束光，那么它们的频率、相位都是一致的。这样的两束光照射到同一块区域就能够形成稳定的干涉条纹，即有些地方亮、有些地方暗，就像两束水波相遇会产生干涉条纹一样，全息胶片记录的正是这种稳定的条纹。而如果我们在普通光源发出的光球面上任取两束光，它们的频率、相位是在随机变化的。这样的两束光合在一起就不能形成稳定的干涉条纹，而是形成左右随机移动的干涉条纹，从而不能被胶片记录。用给风扇拍照打个比方，当风扇不转的时候，我们可以用相机拍下风扇的叶片以及叶片之间的空隙，这就相当于稳定的“明暗”条纹。但是当它转得很快的时候，我们的相机就只能记录下一个均匀的圆盘，叶片和空隙就被“平均”掉了。

图4（俯视图）中一束发散的激光射向小车和全息胶片，其中一部分光照到小车身上，被反射后射向胶片，另一部分光直接射向胶片。就像两束水波相遇会产生干涉条纹一样，这两部分光在胶片上相遇，也会产生明暗相间的干涉条纹，从而被胶片记录下来（见图5）。与水波不同的是，光波的明暗条纹间距通常和光波波长在同一个量级，即0.001mm以下。全息胶片的显像颗粒必须小于这个尺度，而普通照相的胶片的显像颗粒在0.05mm左右，无法记录这种精细的干涉条纹。因此，找到合适的高分辨率的胶片是全息照相的关键之一，而另一大关键则是相干光源。

普通光源无法形成稳定的干涉条纹，如果用普通光源照亮拍摄物，在胶片上只能形成一片比较均匀的光斑，而不能形成如图5所示中的干涉条纹。

了解了全息照片拍摄的原理，下一步就是怎么观看这张照片。普通的黑白胶片冲洗好以后，可以直接在普通光下看到一个黑白颠倒的图像。但是全息照片拍好以后，如果拿到普通光下，只能看到如图2右边那幅图所示的样子，只有一些五颜六色的花纹。要想看到隐藏在这些花纹中的美丽图像，还需要激光来帮忙。

如图6所示，观看的时候，激光和胶片仍放在拍摄时的位置。从图6中上半部分可以看出，激光经过胶片时，如果那一部分胶片没有记录干涉条纹，则出射光沿直线传播，如果那一部分胶片记录有干涉条纹，则出射光偏离直线。有意思的是，偏离直线的这些出射光恰好沿着原来从小车上反射的光路传播。所以，当我们把眼睛放到那个区域时，我们会看到小车的虚像， 就好像小车还放在那里，我们看到的是从它身上反射的光一样。这样，全息照片奇迹般地再现了一个真实的三维物体。用物理学的知识，我们可以严格证明出射光的确沿着小车反射光的光路传播，有兴趣的读者可以查阅大学光学教程。

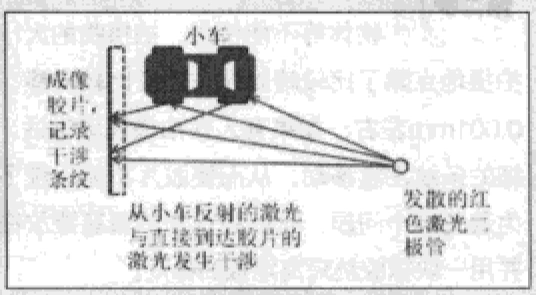


图4 拍摄全息照片的原理示意图（俯视）

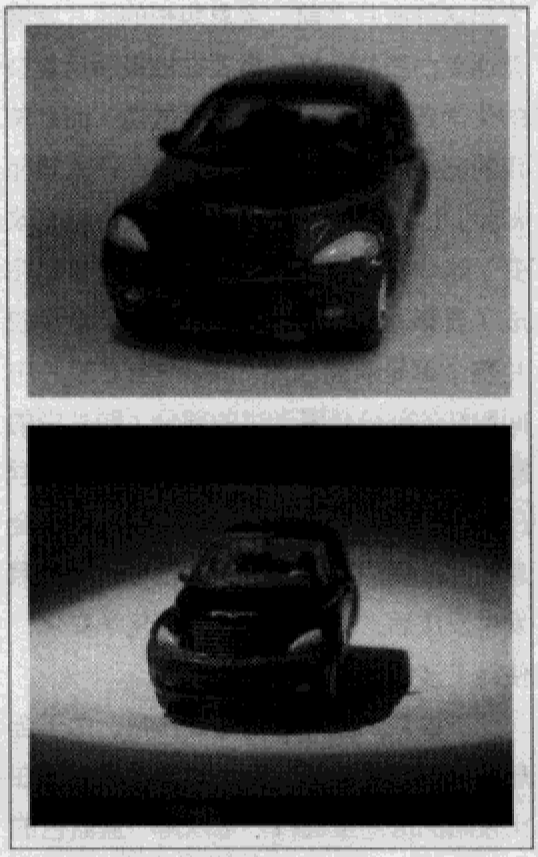


图3 玩具小车的实物图片

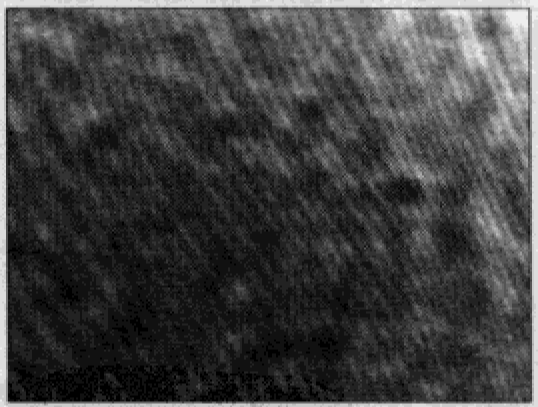


图5 在显微镜下观察全息胶片记录的干涉条纹（取自维基百科）

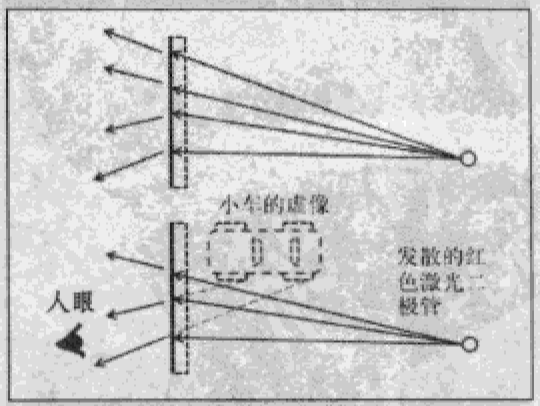


图6 观看全息照片原理示意图（俯视）

自制全息照片

所需材料非常简单！在Litiholo公司研发出这种胶片之前，全息照相的胶片就像普通黑白胶片一样，需要在拍摄后用复杂的化学药剂显影，不仅不易成功，而且使用的药剂对人体和环境都有毒，让人望而却步。Litiholo的全新速成全息胶片彻底改变了这个状况，它在曝光的过程中自动完成了显影。在未曝光之前，Litiholo全息胶片整个都是淡蓝色的，图8中全息胶片中间粉红的部分是曝光过的部分。胶片中的微小感光颗粒经过红色光照射后发生化学反应，记录下干涉条纹，从而使得这张全息照片无需后期处理。感光颗粒一经光照发生反应后，就不再发生其他化学变化，使得干涉条纹可以长久地保存。

下面我们就开始正式制作吧。由于全息胶片对红光敏感，整个制作过程必须在比较暗的房间里进行，可以用一盏蓝色的小灯照明。使用蓝光而非白光照明的原因是，蓝光中的红色频率成分很少，胶片中的感光材料不会被蓝光引发化学变化。如图3（右）所示，红色的小车在蓝光照明下呈黑色，这证明蓝光里几乎没有红色成分。可以形象地认为，在只有蓝光照明的环境中，全息胶片成了瞎子，从而保护了胶片中的感光材料。如果没有蓝色灯，可以用蓝色的记号笔把一个白色LED小灯涂成蓝色。注意，在准备过程中不能把胶片从它的遮光包装中取出。

图9 拧下铜套后，激光二极管发出的光散开了

了解了全息技术的背景和原理，读者一定想亲手尝试制作一张全息照片了。我们先来准备制作材料，清单如下：

5mW以下红色激光二极管

淘宝有售，购买时要注意选择“可调焦”型的红色激光二极管。如图7所示，铜套可以拧下来，从而使得激光发散开，见图9。千万注意，直视5mW以上的激光会导致永久失明。为了你和他人的安全，请上网查阅激光安全知识以后再购买激光器。

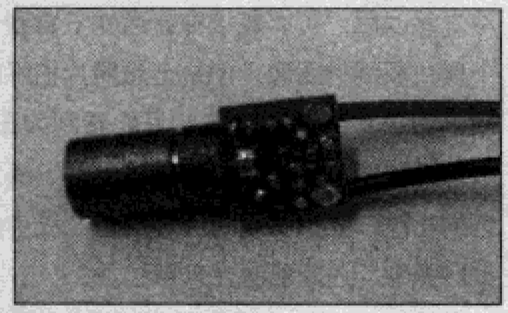


图7 红色激光二极管

Litiholo 全息胶片

如图8所示，该胶片对波长为600~660nm的红光敏感，所以选购激光二极管的时候要留意它的波长，确保在这个范围内。

有兴趣购买的读者可以到Litiholo公司的官网订购，或者向《无线电》杂志社咨询。

图8 全息胶片

第一步 做一个小的支撑架，可以使胶片（用一块纸片模拟）与地面大约成80°角，稳定地斜靠在上面（图10）。支撑柱可以涂成深色，或选择表面不易反光的材料，减少在拍摄中反射激光到胶片上。

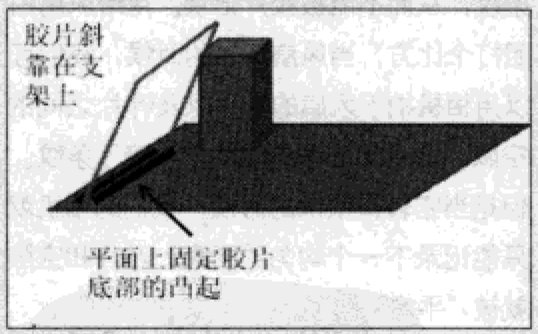


图10 拍摄时的胶片放置角度

第二步 选择拍摄物体和拍摄地点。拍摄物的选择依据是物体必须能强烈地反射红光，如图3中的红色小车。所以一些表面光滑的红色或白色物体为最佳，毛绒玩具、蓝色物体等不能使用。拍摄物的大小应比胶片小，这样才能完整地被记录在胶片中。拍摄地点除了比较暗以外，还应比较安静，没有人走动。因为胶片最终要记录的条纹间距在0.001mm左右，如果有人在拍摄现场讲话，声波引起拍摄装置的振动都有可能足以使这些精细的条纹左右移动，从而使胶片不能记录下一套稳定的干涉条纹，最终导致全息照相失败。为避免这个问题，可以将这套拍摄装置放在地板上（而非桌子等轻易可以移动的物体上），并用一块橡胶垫隔离地板的振动。

第三步 调整激光位置。用一张纸片（7.5cm x 5cm）模拟胶片，如图11所示。拧下激光器的铜套使得激光散开（见图9）。激光器摆放的位置应该使得小车和纸片都能刚好被照亮，调整激光器的仰角，避免光线从地面反射到胶片上。

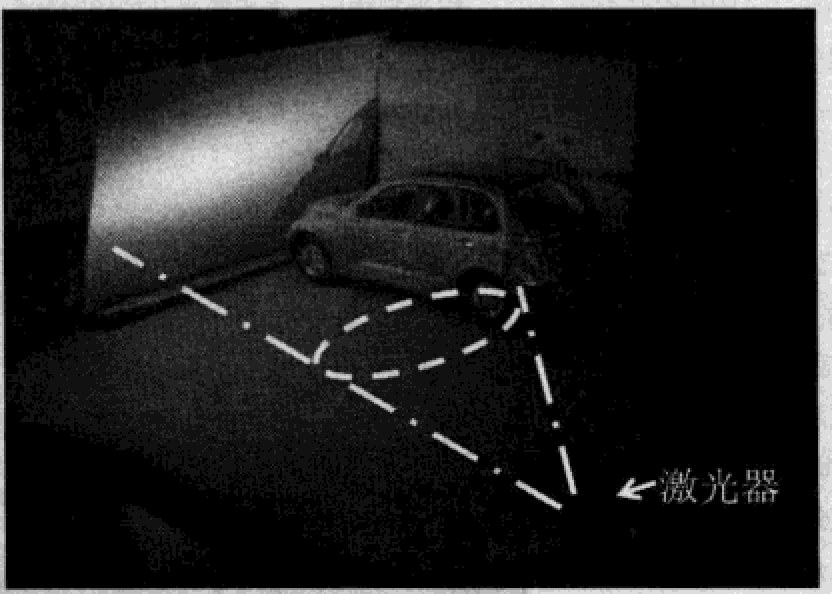


图11 调整激光位置

第四步 挡住激光，为放入胶片做准备，如图12所示。这个步骤中可以等待几分钟，使得二极管温度稳定下来，从而激光频率更加稳定。要注意，放入和拿开激光挡板时，不要引起激光器或其他部件可以察觉的移动。

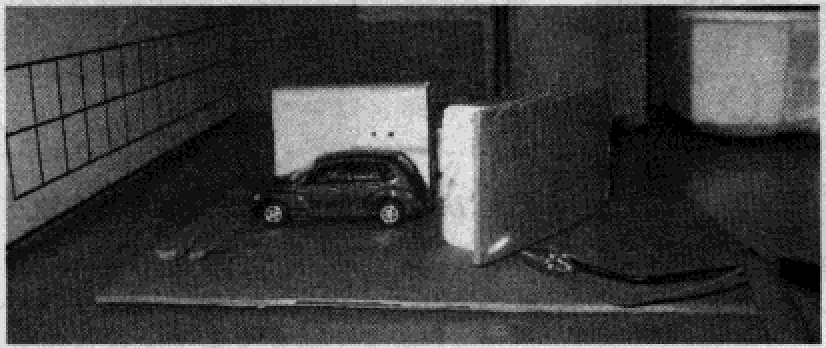


图12 挡住激光，为放入胶片做准备

第五步 确保室内的安静和黑暗以后（除了微弱的蓝色灯光），将密封的全息胶片取出，为了不在胶片上留下指纹，应捏住胶片的边缘。全息胶片实际上是一块薄玻璃粘在一块厚玻璃上，感光物质在两块玻璃之间。将薄玻璃所在的那一面朝向远离激光的方向，然后将胶片轻轻靠在支架上（见图13）。稍候10s，等微小的振动衰减，然后轻轻移开激光挡板。此时，胶片中的化学反应就开始进行了。这个曝光过程大约需要10min（曝光时间宜长不宜短，为保险起见，可以曝光15min）。拍摄者可以轻轻离开拍摄的房间，10min之后再回来查看。注意，离开时可不要发出可以察觉的声音，不要漏进太多室外光。10min之后，生米煮成熟饭，感光物质不再会发生变化，那时就不用担心其他光线或者振动的问题了。

图13 曝光场景

至此，全息照片的制作就大功告成啦。现在，你可以将照片取出来，用拍摄时的激光器观看到图 1 中那个活灵活现的 3D 小车了！

由于制作的过程步骤比较多，而且都在暗室中进行，读者可以先按照上面的介绍，用纸片替代胶片演练一遍，确认熟悉每个步骤后，再使用胶片拍摄。

结语

视频演示：http://www.optics.arizona.edu/pstg/index.html

全息照相可以理解为一种大容量的存储技术。在同样的空间里，一张全息胶片记录了比普通胶片多千百倍的信息。利用全息技术进行数据存储是一个很有应用价值的研究方向。如果电影能用全息胶片拍摄，那么观看者就能真正领略身临其境的感觉了，实际上，这也是全息技术的一个研究前沿。2010年美国亚利桑那大学光学中心的研究小组在Nasser Peyghambarian的带领下成功研制出一种可以反复擦除、更新的全息胶片，这样观看者就能从一张胶片中看到连续变化的三维画面。以目前胶片刷新的频率，它还不足以投入到市场应用，但是这已经是朝“全息电影”迈进了一大步。有兴趣的读者可以在他们的网站上看到这些研究成果的视频。

我的全息照片制作心得

◇陈武

非常感谢老薛千里迢迢从美国寄过来的Litiholo全息胶片，用这种胶片做激光全息照相，只要再有一个激光二极管即可。其他的东西都是些可以从垃圾堆里找到的日常用品，例如纸板、细铁丝等。

正好笔者手头有个200mW的红色激光二极管（见图1），越强的激光成像时间越短。但是请注意，这种强度的激光如果直接照射眼睛会瞬间致盲，所以请大家尽量用5mW以下的激光笔进行实验，并且不要让家里的孩子接触它们。

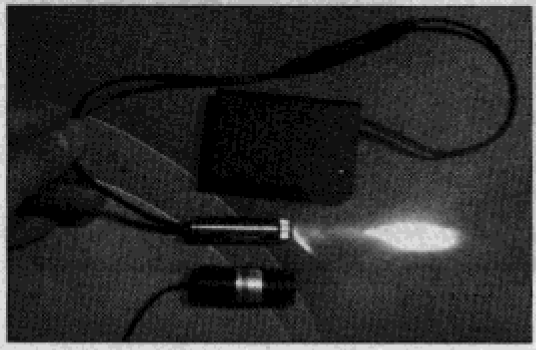


图1 红色激光二极管

接下来选择一个合适的模型，最好是以红色为主，尺寸比底片尺寸略小一点。我选的摇头娃娃在这点上不如玩具小车理想，它的高度比底片大，横向上的中间又是空的，所以最终成像时，只能看到靠近底片的那个娃娃。模型和底片的摆放方式如图2所示。图2中后面的那个立着的盒子是用来固定底片的，让底片能有80°左右的倾斜角。

图2 拍摄物体

接下来就是暗室拍照了。因为红色会使底片曝光，所以可以使用微弱的蓝色光源照明。我采用了一个简单的办法：用电脑做一张深蓝色的图片，复制到手机里，然后用手机查看这张图片并用全屏显示，这时手机就变成了一个蓝色光源。

拧掉激光二极管的调焦头，让它从模型和底片的夹角方向照射。需要注意的是，只要激光一照到底片上，它就开始曝光，所以不能在曝光的时候调整位置。

正确的做法应该是先摆好各种器件位置，用一块纸板代替底片，调好激光的位置。激光二极管可以用带开关的插线板做电源，这样开关激光的时候，激光器本身不会移动。然后就可以关上灯，在弱蓝光环境下把纸板换成底片，最后按下电源开关即可，见图3。

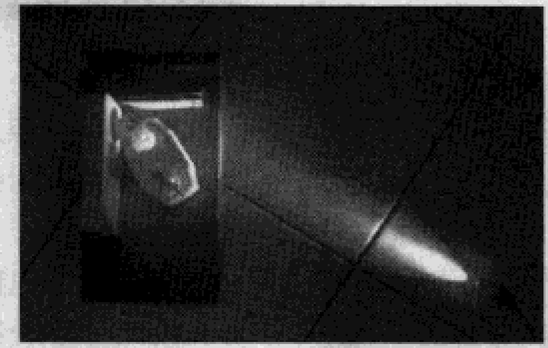


图3 照射场景

接下来需要等待10min左右的曝光时间，期间尽量减少走动和说话，以免引起震动。定影之后就可以开灯了，曝光之后的底片呈粉红色，如图4所示。

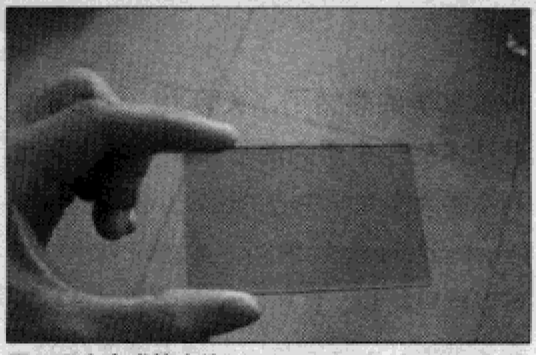


图4 曝光完成的底片

曝光完成后，再用激光从拍照时的角度照射底片，此时从底片的后面就可以看到立体成像了。成像时不用暗室，角度大概差不多就可以了。

图5 立体成像

TIPS

请大家尽量用5mW以下的激光笔进行实验，并且不要让家里的孩子接触它们。

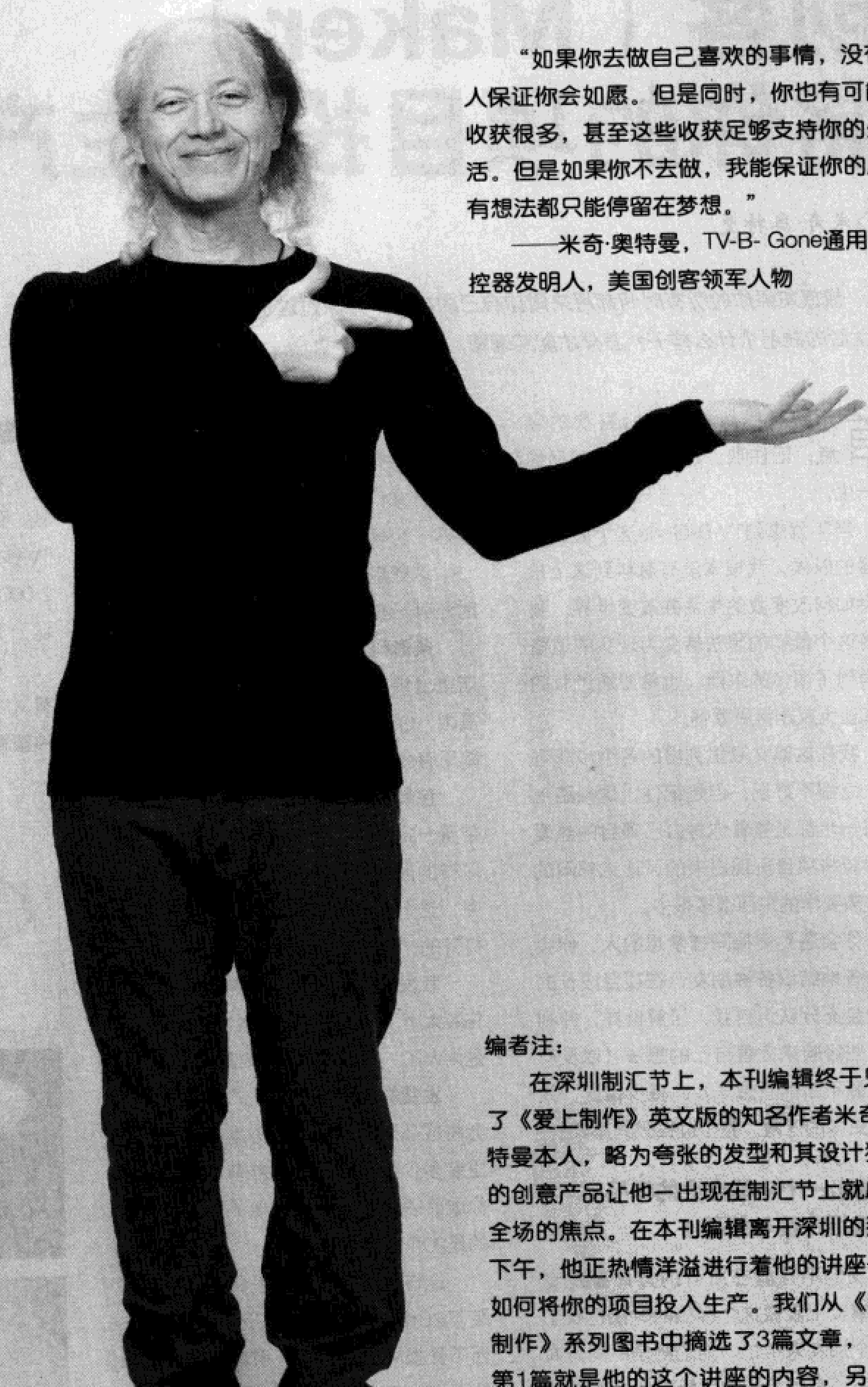
从这次实验中，我发现还有几个地方可以改进：

1. 用来支撑的盒子也会被拍进胶片，最好直接用斜槽固定。即使用了盒子，也最好选用黑色的盒子；

2. 拍照时所有器件都放在地面上，瓷砖的反射会造成二次成像，所以会有点发虚。拍摄时可以用便签条之类的东西挡住激光二极管的下沿，减少外界的反光；

3. 模型最好选择略小于底片、轮廓比较清晰的物品，这样成像的结果更好看。Ⓦ

米奇·奥特曼和他的作品



"如果你去做自己喜欢的事情，没有人保证你会如愿。但是同时，你也有可能收获很多，甚至这些收获足够支持你的生活。但是如果你不去做，我能保证你的所有想法都只能停留在梦想。"

——米奇·奥特曼，TV-B- Gone通用遥控器发明人，美国创客领军人物

编者注：

在深圳制汇节上，本刊编辑终于见到了《爱上制作》英文版的知名作者米奇·奥特曼本人，略为夸张的发型和其设计独特的创意产品让他一出现在制汇节上就成为全场的焦点。在本刊编辑离开深圳的那天下午，他正热情洋溢进行着他的讲座——如何将你的项目投入生产。我们从《爱上制作》系列图书中摘选了3篇文章，其中第1篇就是他的这个讲座的内容，另外两篇是关于他的创意制作的。

本刊今后也将不断推动国内外电子制作爱好者的互动交流。

图片提供：科迪·皮肯斯

创客（Maker）将你的项目投入生产

◇米奇·奥特曼

摘自《爱上制作20》

想想如果你的所有时间都用来做你自己的项目，并通过这个赚到足够生活的钱是个什么样子？怎样才能实现呢？

首先需要找到一个你所喜欢的创意，记住哦，这个项目会用尽你的一生。

当年我想到TV-B-Gone这个通用遥控器的时候，我根本没有意料到这个东西会如何改变我的生活并改变世界。我在将这个最初的想法转变为现实的道路上学到了很多的东西，也希望通过我的分享让大家走得更顺畅。

我在这篇文章里列出的各个步骤可能一点都不好玩，但是记住，这条路上的每一步都是靠着你对自己项目的热爱和希望将项目呈现出来的。让人郁闷的就是需要学的东西很多很多。

你会遇到怀揣同样梦想的人，你会周游各地结识各种朋友，在项目成长的途中会充分认识自我，了解世界，并利用这些经验来完善自己的想法（以及产生源源不断的新想法），减少错误，并发觉更多的乐趣。整个过程极其充实。

1. 做出一个功能完全的样品（包括产品与包装）

我们不可能在所有的方面都是专家，事实上我做这个样品的时候也找了好几个朋友来帮忙，他们则是不同方面的专家，有的擅长电路板布线，有的擅长外壳设计，有的则擅长绘制机械图纸。

我还将其他一些工作交给我的朋友们，比如绘制包装和网站的图样，设计、编制与维护网站，成立公司（求助于一个律师朋友），建立财会制度，做宣传，拿订单与发货等。你只是协调统筹这一切事物的人。

这些事情其实很容易理解，但是当时还有一些要做的事情让我很吃惊。

条形码：如果你想把自己的东西在店里出售，包装上必须要有条形码。在美国，GS1（gs1.org/barcodes）就是跟踪所有公司条形码的这样一个组织。

包装设计：几乎所有的产品都需要带着一定的包装来销售，而包装有多种多样的形状与大小。我选的包装叫做蚌壳，这个包装是咬合的，而且是从底部打开的，有点像蚌。

我发现包装的大小非常重要，如果包装太小了，顾客就不太愿意多花钱，要是太大了，发货与存储就要花费更多。

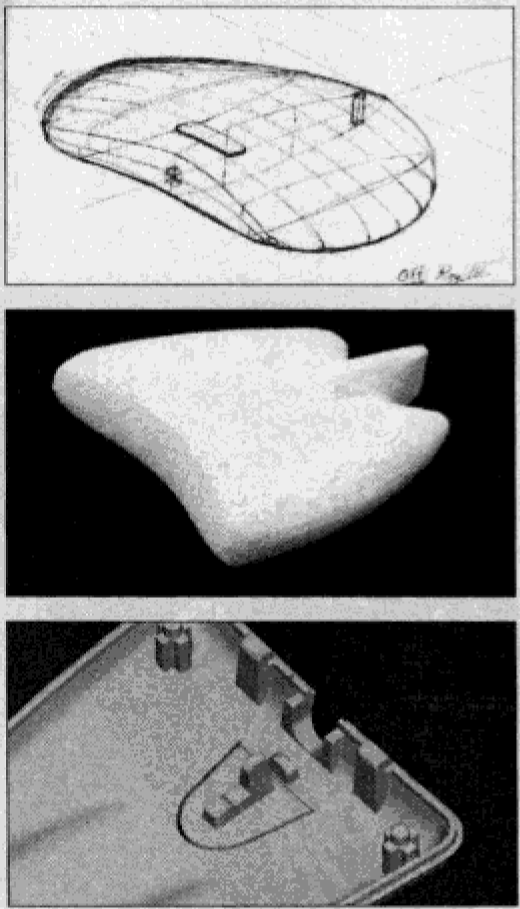
发货箱设计：给你生产产品的工厂会将成品装进发货箱，你准备每个箱子里装多少个呢？如果你准备批发的话，你就必须得找到买家想要的数字，我选的是20个。

这样就需要设计好发货箱，能正好装下20个成品，并保证运输过程中东西不受损坏。设计者还得考虑好发货箱的大小，每个方向上都必须是装好整数个成品，发货箱的外体还得注明各种标志，这样海关官员就知道里面是什么东西。幸运的是，我的生产商帮我设计好了这一堆东西。

2. 获取赞助

将一个项目推向生产需要花一些钱，但是并没有你想象的那样多。开发TV-B-Gone总共花了我18个月的时间与2 000美元，其中还包括了到中国最后确认一下我选的生产商的费用。

另外，还有额外的10 000美元开工费（NRE），这是我付给生产商用于各种塑料外壳与包装的模具费，也包括做



从粗略的概念图到泡沫的模型，再到三维图，这是TV-B-Gone万用遥控器从一个想法到最后实现产品的历程。

出包装上的各种漂亮图案等的费用。

当到了真正付款并拿到首期样品的时候，你得计算好每个产品的成本。根据项目的不同，这个数字可能是几毛钱，或者是几块钱。由于所有的生产商基本上一次订货量都在几千个，这样即使产品的成本只是几块钱，要花的钱也是非常多的。

怎么拿到这些钱呢？我是从家人和朋友那里借的。采取这种做法的条件是借我钱的人都喜欢我，也喜欢我这个项目，都知道我会竭尽全力去还钱，而且对我来说很好的一条就是：不需要还太多的利息。

另外一条路就是找投资了，投资者做的就是将钱投到一些有趣的项目上去，如果你要花几百万美金的话，我建议你再考虑一下你项目的成本，因为现在你只能去VC（风险投资）了，而到了VC的地步，你会对项目失去控制（估计你的热情也会消退）。

3. 将你的产品进行生产

你需要有个签约的生产商来做这一步，否则自己来生产实在是太麻烦了。

很多签约生产商能完成所有的一切，给他们一个点子，他们就能做出最后包装好的产品。当然你自己预先完成的工作越多，签约生产商那里的花费就越少。大多数情况下，设计者拿着项目的样品去签约生产商那里，一起完成包装的美工设计，接下来就是签约生产商接手了。

对我来说，我的TV-B-Gone这个产品让使用者生活更方便，而且又不会给生产者带来痛苦。我按照以下原则进行了签约生产商的筛选：

>> 完善的质量生产体系。

>> 善待员工。

>> 拥有并按照安全规范生产。

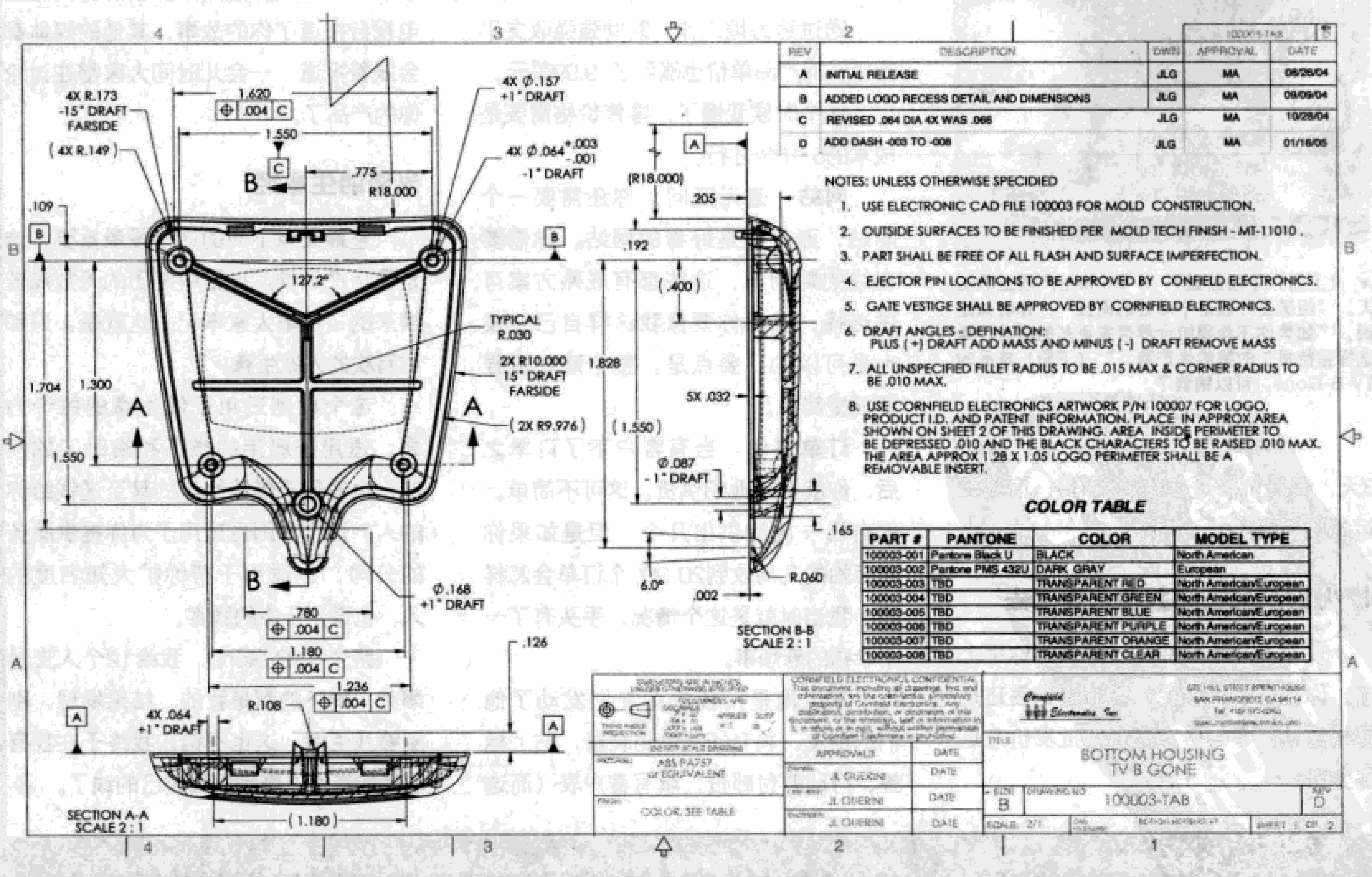
>> 保护环境。

>> 价格在我的承受范围内。

我最终选择的签约生产商满足所有的这些条件，这家企业在美国旧金山湾区有一个办事处，真正的生产地在中国。由于我定的这些筛选原则对我来说很重要，我还特地去中国当地考察了这家工厂以及工人。

由于我们的产品最后是通过组装线来进行生产的，签约生产商会对应产品制定一个组装流程。签约生产商会自己订购各种器件，可能会选用二级供货商来生产电路与塑料外壳。一旦这些东西搞定了，就可以开始上组装流水线了。

无论是在哪里生产，物流的成本与时间花费都是要考虑清楚的。这些负责运货的物流承包商按照重量和体积还有运送距离收费。但是我发现，就算加上进口税和运费，在美国以外生产还是比在美国国内生产合算。空运最快，只要



TV-B-Gone的设计图纸

（上图）中国组装TV-B-Gone生产线上的工人。“组装生产线是个艰苦的岗位”，作者如是说，“如果你不希望给世界带来更多的痛苦，请选择善待员工的签约生产商。”（下图）成品的TV-B-Gone，可以销售了。

3天，但是价格是非空运的4倍，而非空运的话则要花上一个月。

4. 做好产品市场并将它卖出去

现在产品生产完毕，也送到你手上了。你准备怎么卖呢？实体店销售还是网络营销？零售价定多少？批发价又是多少呢？

定价：刚开始的时候，我想着只在网上卖TV-B-Gone。一开始我卖14.99美元（后来在美国的所有价格都到了99美元），由于我的成本就是几块钱，每一台我还能再赚几块钱，听起来挺合理，其实不然。如果你的产品卖得好，你需要很多人帮忙，而且这些忙是要给钱的，这样又会产生一笔开销，这个也要计算在内。

而且如果一家实体店要买你的产品的话，你得以大概半价的水平卖给他。而很多很多的店都愿意从分销商那里进货，而分销商也是要赚钱的，因此折扣可能更低。

我选择接受网络上的信用卡付账，这意味着我需要一家信用卡服务商，比如Paypal，比如Google Checkout，而这些都是要收费的。

哦，还得雇一家公司帮你接批发商的电话和订单，并把大额的订单转到我的库房那里。

通过努力地工作，勉勉强强收支平衡了，而产品单价也涨到了19.99美元。

这个时候我懂了，零售价格需要是成本的5～6倍才行。

网站：毫无疑问，你还需要一个网站，而且得是好看的网站。你需要在线的购物车，这些都有成熟方案可供选择，当然你要像我这样自己开发也是可以的。要点是：整个购物流程要便捷简单。

订单交付：当有客户下了订单之后，你就得给他们供货。这可不简单。你自己一周能供出几个，但是如果你刚开始的几周收到20 000个订单会怎样呢？我当时就是这个情况，手头有了一个幸福的麻烦事。

幸运地是，我的朋友们发动了他们的朋友，将TV-B-Gone装箱，贴上标签，打印并付邮资，填写客户表（而这刚开始的时候就有国际订单），然后将所有的东西搬到邮局，大家疯狂地日日夜夜干活，太紧张了。

还好，有专门的订单交付服务公司来管这些事情。和签约生产商一样，我们必须知道他们到底是怎样工作的。我调查了三家，最后选定了一家——现在货品终于有秩序地发向目的地了。

客户服务：准备好为那些买了你产品的顾客解决问题。要减小工作量，一定要在包装上清晰地标好用户说明。

可能还得雇人专门回复收到的大量邮件，我做了一个常用问题标准答案列表，并放到了TV-B-Gone的网站（tvbgone.com）上。

知名度：如何将你的好产品打出名声来？做广告比较昂贵，但是也有不花钱的广告方式，就是新闻，而且新闻更有效。那些媒体每天都在找内容，将你的故事交给他们，他们会喜欢的。而且只要一家大网站或是杂志或是电台甚至电视台报道了你的故事，其他的媒体都会跟着报道，一会儿时间大家都在讨论你的产品了。

米奇的生意经

整篇文章下面的这一段最重要，这是我用产品推广历程中经历的无数痛苦换来的，希望大家牢记。这就是：只和你喜欢的人做生意。

这个原则适用于做生意的每个方面，适用于雇用的员工和临时工的问题，也适用于借钱给你的甚至送钱给你的人。这个原则也适用于为你提供服务的公司，也适用于帮你扩大知名度的人，也适用于你的顾客。

整个TV-B-Gone，我给12个人支付酬劳，剩下的都是我的，结果发现，刚刚够我生活。这也不错，我终于在我喜欢做的事情上赚到养活自己的钱了。

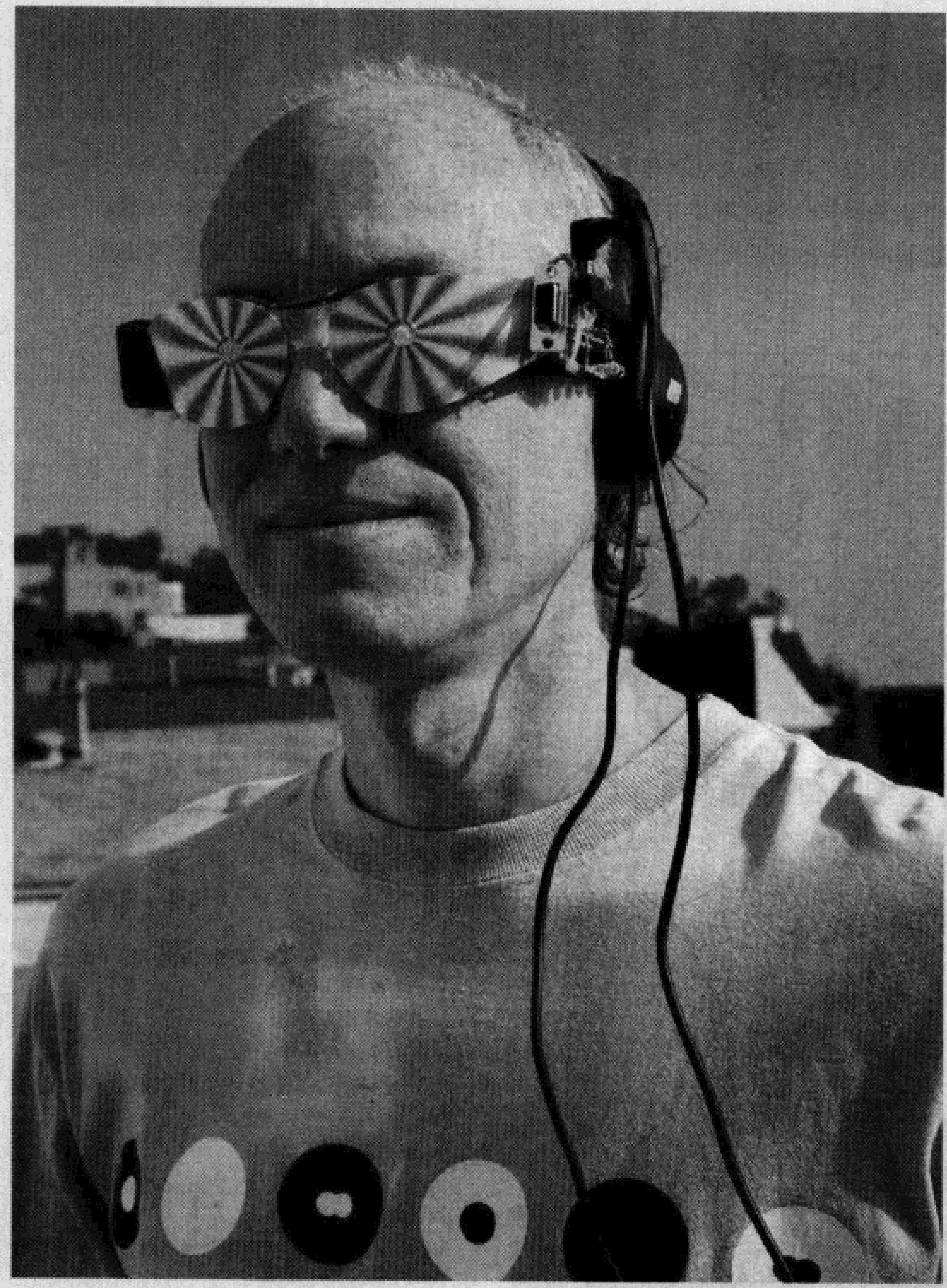
《爱上制作》英文版的“常客”米奇·奥特曼常举办讲座教授单片机知识，他也是Cornfield Electronics公司的首席执行官，也是创客空间“喧闹之桥”（Noise Bridge）的共同发起人。

大脑机器

◇米奇·奥特曼

驾驭你的脑电波

并不是只有像睡美人那样才能睡得好，使用这个简单的微控制器小制作就可以使你进入类似的睡眠意识状态或其他状态。



摘自《爱上制作3》

有一天，我在沉思时突然想到：如果把你的脑电波的记录播放到另外一个人的大脑里会发生什么现象呢？现在就有机器可以完成这种功能，这就是声光机器（SLMs）。声光机器以脑电波的频率产生声音和闪烁光，可以帮助人入睡、清醒、沉思或进入这个机器编程设定的任何一种意识状态。我第一次尝试使用这种机器时感觉跟一次旅行一样爽！不仅仅是受机器引导进入深度沉思接着又清醒（感觉相当棒！），而且在这个过程中有一种很好的、出乎意料的幻觉。

本文将介绍怎么制作比买的机器更便宜的声光机器。通过更改一个现成的微控制器项目就可以很方便地做出来。我使用的是MiniPOV套件，通过挥舞这个玩具就可以显示相当酷的闪烁图像和文字，我们只需要更改软件和一点点硬件就可以把它变成声光机器。

米奇·奥特曼最出名的是发明了TV-B-Gone遥控器，这个钥匙扣大小的遥控器可以把公共场合的电视关掉，他对任何可以改善人们的生活的技术也很感兴趣。

摄影：萨姆·莫菲

声音和光线是怎么影响大脑的？

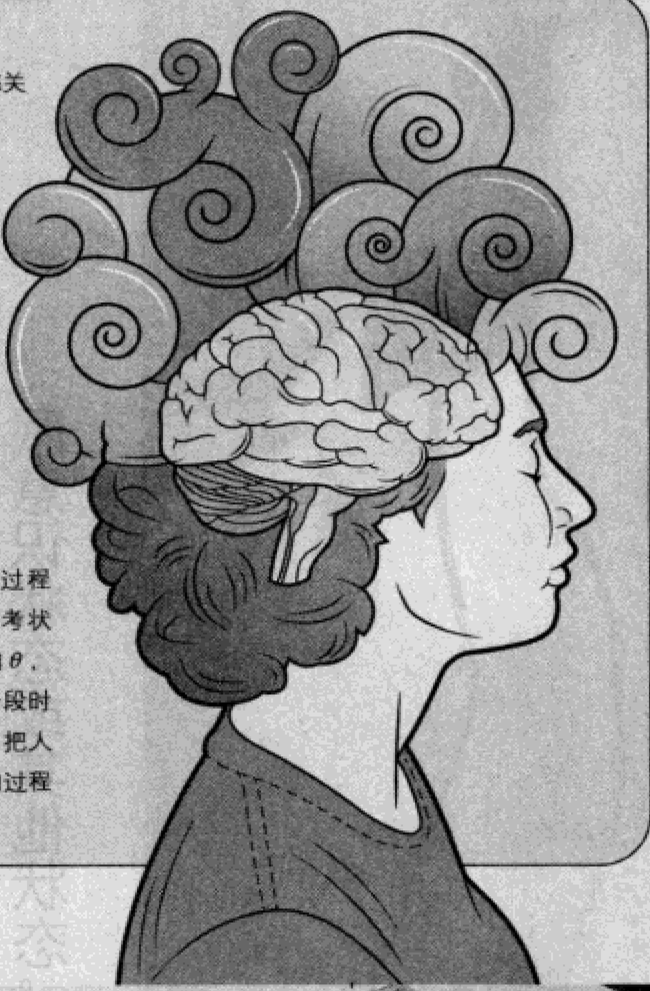
大脑产生的脑电波的类型是根据大脑处于休息、集中精力和其他状态下的程度而变化的，通过脑电波图可以看到每一种脑电波都有其独特的频率范围。许多人的脑电波频率可以变得和外界的声音与光线的频率同步，并因此而改变大脑的状态——这种外同步的方式叫做“脑电波诱导”。通过把各种序列的脉冲信号传送到你的眼睛和耳朵，就可以让你的大脑进入你想要的任何状态。

产生波形

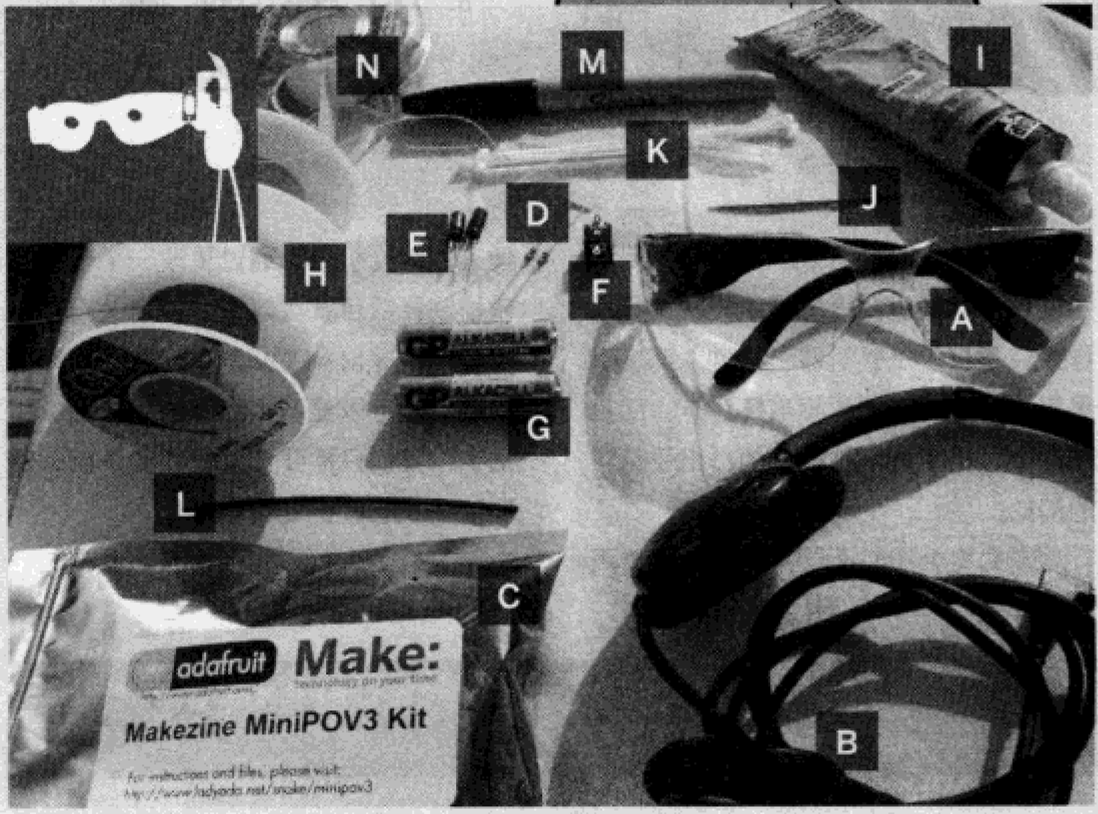
脑电波的频谱可以分为和大脑状态关联的5个波段：

- **δ 波0.5～4Hz：昏睡，具有直觉和第六感的状态。**
- **θ 波4～8Hz：极度放松，具有潜意识的创造性。**
- **α 波8～13Hz：精神恍惚及做梦，有感知和被动状态。**
- **β 波：13～30Hz：清醒状态、关注外界变化。**
- **γ 波：30～100Hz：人们现阶段还不是很了解这个状态，但这个状态与洞察力以及防备或焦虑状况有关。**

使用这个机器成功进入冥想的过程中，一开始用β波段的高频率（思考状态），接着进入α状态，然后是更多的θ，最后进入最高程度的δ状态。经过一段时间后又把上述过程倒过来运行一遍，把人带回β的清醒状态，回到清醒状态的过程中有时候还会发现新的第六感。



准备



具体制作过程详见《爱上制作 3》

准备

[A] 安全眼镜，**可以从你喜欢的商店购买。**

[B] 廉价的耳机，**就像飞机上使用的那种耳机。**

[C] 第三版的MiniPOV套件，**花18美元可以从**makezine.com/go/povkit**购买。声光机器SLM的程序和说明文档可以从**makezine.com/10/brainwave**下载到。**

[D] 1 kΩ电阻，1/4W，2个。

[E] 1 μF电解电容，2个。

[F] 3.5 mm 立体声耳机插座，**需要和你的耳机插头匹配。**

[G] AA电池（5号电池）2节。

[H] 两种颜色的30号线**（译注1），我用的是蓝色和黄色。**

[I] 硅胶，**透明的或任何颜色的均可，5美元就可以从你喜欢的商店买到。**

[J] **用来涂胶的**牙签。

[K] 4英寸长0.1英寸宽的扎带。

[L] 一段4英寸长，直径为1/16英寸的热缩套管。

[M] 油性或水性记号笔。

[N] 3M 魔术胶带。

可以在makezine.com/10/brainwave**网站下载眼镜图案。**

如果用油性笔绘眼镜图案时出了错，可以用酒精和纸巾擦掉然后重画。

所有的材料花费23～56美元，取决于你的淘宝能力。

材料

计算机，**带9芯串口或USB接口和一个基于PL2303芯片组的USB/串口转换线，转换线大约15美元。**

焊接设备和焊料

尖嘴钳

剪线钳

剥线钳

电钻和3/16英寸钻头

细的钉子

第三只手工具（可选）**（译注2）**

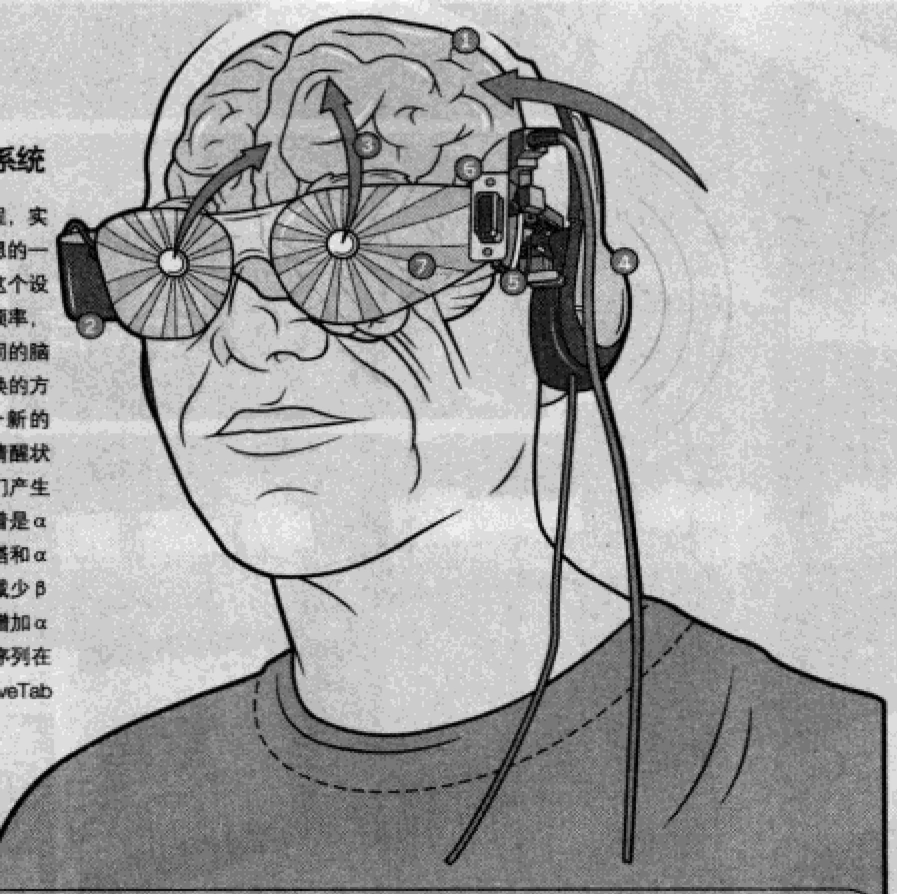
剪刀、小刀、用来打印图像的打印机**（可选）。**

译注1：30号线导电部分截面积是0.05mm²。

译注2：这种工具有一个重型底座，底座上安装了两个带有鳄鱼夹的可调臂，可以像手一样夹持住小型元件，用来辅助焊接元件。

家用脑电波诱导系统

我们在声光机器中编程，实现了可以让人经历冥想的一个14分钟序列。由于这个设备一次只能产生一种频率，我们是通过在两个不同的脑电波频率之间来回切换的方式诱导大脑进入一个新的状态。例如，为了从清醒状态进入睡眠状态，我们产生一段时间的β波，接着是α波，然后交替输出贝塔和α波，在每一次交替中减少β波的持续时间并相应增加α波的持续时间，以上序列在我们代码中是brainwaveTab模块实现的。

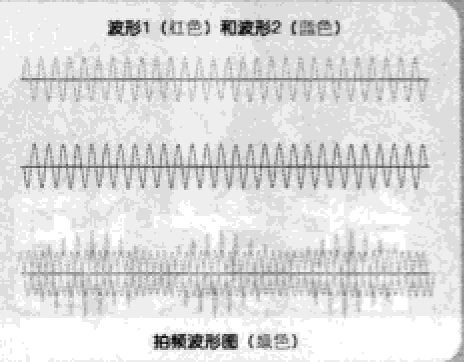


1. 诱导大脑进入我们设置好的波形序列并相应改变大脑的状态
2. 供电用的电池组
3. 紧靠用户眼睛的LED灯，以2.2Hz、6.0Hz、11.1Hz或14.4Hz的频率闪烁以产生δ、θ、α或β波
4. 耳机，左右扬声器可以播放不同的音调，用来产生和LED灯闪烁频率相同的双耳拍频
5. 电路板，电路板上的微控制器内部运行的代码控制着LED灯和耳机
6. 串行通信接口，用来将代码写入单片机，也可以用这个接口来编辑你自己的脑电波序列
7. 画在眼镜上的简单图案，看起来很酷

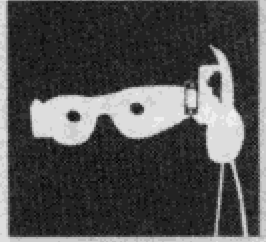
双耳拍频

我们使用一个非常有效的方式简单地通过耳机扬声器就可以播放脑电波诱导频率信号。原理是：当双耳接收到不同频率的信号时，大脑会感觉到有一个双耳拍频，就像同时弹吉他的两根相邻弦线时听到的两个音调。两个音调产生的节拍会以两个频率之差的比例循环增强和减弱。

为了产生双耳拍频，我们在一个扬声器播放400Hz的音调，在另外一个扬声器播放414.4Hz的音调。用户听到的就是一个每秒循环14.4次，有点像“哇-噢-哇-噢”的声音。



使用



沿着光线进入奇幻世界

注意：有癫痫病倾向的人要避免受闪烁的灯光照射，如果你对闪烁光线很敏感，请务必断开LED灯，单凭双耳拍频就可以诱导你的大脑。由于有的疾病如多动症在θ和δ波的诱导下会加重，当你使用声光机器时如果感觉到有任何问题请关掉它。

舒适地放松下来，戴上眼镜和耳机，闭上眼睛（因为LED灯比较亮）然后打开电源。现在就可以享受进入深度冥想的幻觉，思考你的内在世界并在14分钟神话般的经历后清醒过来。

如果你是第一次进入冥想过程，可以试试下面的一些方法：正常呼吸并把注意力集中在呼吸上，如果不成功也不要担心，试试再次把注意力集中在呼吸上，或者不关注任何事情，天马行空地想象。在你开始前也可以专心关注一件事情：解决一个技术难题，思考一个困难的决定，回想一个人际关系问题等。如果你没能进入冥想状态，只需要再次集中精力即可。在冥想状态你可以无边际地思考任何东西。

设置你自己的脑电波序列

通过编辑slm.c文件的brainwaveTab中的定义可以设置你自己的序列。每一行定义一对（bwType,bwDuration）参数，用来设置脑电波的类型和持续时间，1s的设置是10000，例如，第一个定义{‘b’,600000}运行的是β频率（14.4Hz），持续60 s时间。

你也可以编辑程序来使其运行超过14min，从而有更多的时间处于更深度的状态。由于低音量有助于放松，为了帮助睡眠，你也可以降低音量。要降低音量可以调整slm.c主程序中的OCR0A和函数中的do_brainwave_element设置。

大脑机器II代

我正在完成一个加强了放松和诱导功能且更复杂的SLM声光机器。这个新版机器可以控制指示灯逐渐点亮和变暗以及控制声音的逐渐变大和变小，可以手动设置多个仿真脑电波频率，不同的脑电波频率和不同的双耳拍频对应着不同颜色的发光二极管，并且将拍频隐藏在音乐或其他声音中。在材料上，新版机器会使用一个柔软布料的睡眠面罩，并用一个轻巧柔性的充电电池。当然也会有其他增强功能。

更多资源参见： makezine.com/10/brainwave

能关闭电视机的帽子

摘自《爱上制作17》

仅仅看着电视，就能把它关掉。

◇米奇·奥特曼

“嘿，你介不介意关掉那个东西？”足够简单的问题，但是我已经厌烦了人们看着我，仿佛我来自火星。当房间里电视开着的时候，我就没法思考。我就看着它，呆滞地看着。

于是我发明了关电视器，一种可以悄悄关掉几乎任何电视的钥匙链。当电视机关上，生活开始变得有趣，跟别的人聊天、读书、吃东西以及参与各种活动。和平诞生了。

我最近和一个多产的套件制造商合作制造了一个20美元的原创的关电视器钥匙链套件，这个版本的关电视器可以允许使用者在离电视机40码（1码＝0.9144m）以内的地方开关电视，而且完全可编程。整个程序是开源的，在ladyada.net/make/tvbgone网站上有记录。图B显示的是我将套件植入棒球帽，摸摸帽尖，就可以开心地看着电视关掉了。

关电视帽的工作原理

所有的电视遥控使用同样的原理：传输940nm红外线的编码模式到电视远端的接收器，类似于用闪光灯传送莫尔斯电码。接收器接收闪烁的红外线，当遇到可以识别的模式时，控制运行相应的功能。为了避免被房间中偶尔的反射光启动，接收器只对按特定频率闪烁的红外线有响应。

对于关电视器，我们所需要的只是一个关掉电视的代码。因为关电视器只有一个开/关按钮，开和关的代码一样，所以电视现在的状态决定了再按一次按钮的状态，例如，要关掉JVC电视，你发出图A中所示模式的54kHz的信号。整个信号持续时间远小于1s，所以不会有可察觉的延迟。不同电视制造商的红外接收标准不同，但是他们都使用高频的载波快速闪烁信号。关电视器可以一个接一个地向大部分电视传输开/关信号。所以它像其他遥控器一样工作，只是仅有一个按钮罢了。

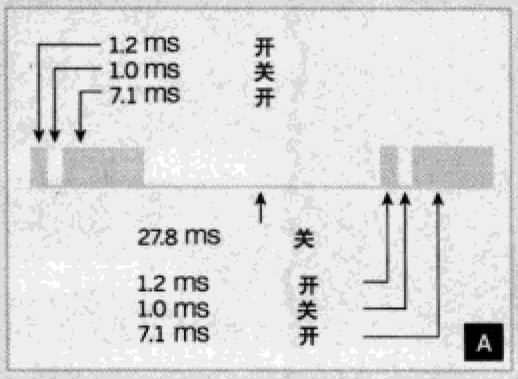
材料

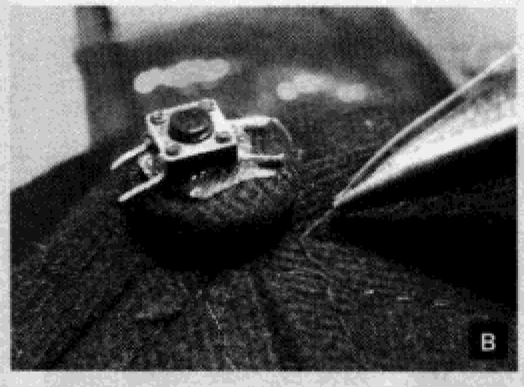
关电视器套件：可以在麦默·弗莱德的网站或网站store.makezine.com买到
棒球帽（或其他任何有帽舌的帽子）
触控开关，瞬时接触单刀单掷开关：Jameco公司#119010 jameco.com
1英寸热缩套管，2英寸长：Jameco公司#419291
30-直径实心丝包线，约2英尺：要和帽子的颜色一致
永久显色彩笔或油漆：要和帽子颜色一致
AA碱性电池
针和线；热胶枪和胶
干发器，空气加热枪，或打火机
针鼻钳

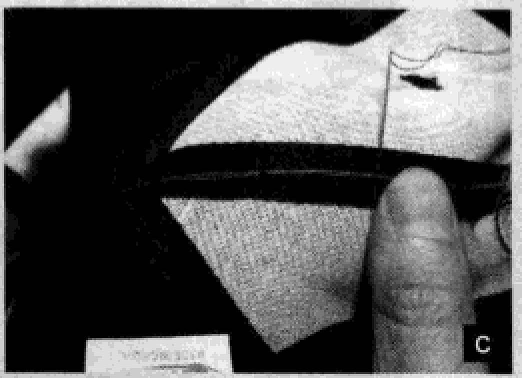
1. 安装套件

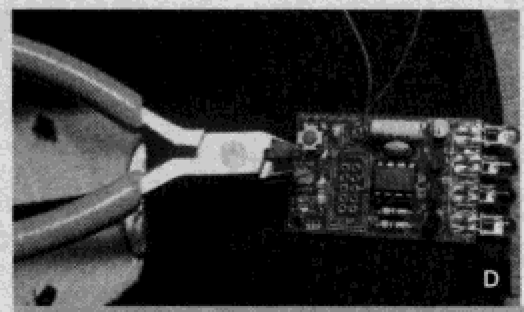
我先做了一个关电视器套件本身。我已经知道怎么做了，你可以照着ladyada.net/make/tvbgone网页上的详细说明做一个。

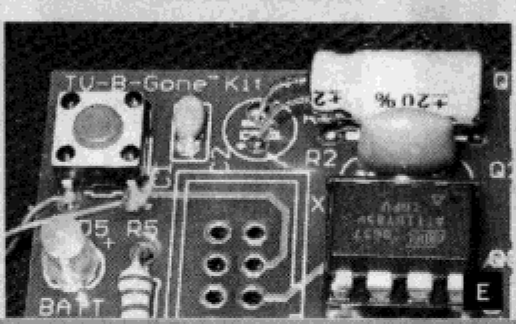
摄影：山姆·莫菲　米奇·奥特曼

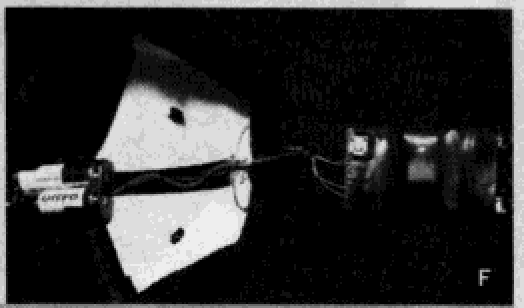












图A JVC牌电视遥控器的开关键红外闪烁
图B 将丝包线穿过帽布和帽顶的开关
图C 把从帽顶到电路板所在的帽沿之间连的电线沿帽缝好
图D 剪掉多余的电线使其正好到达板载开关接口
图E 把开关电线焊到板载开关接头上
图F 把关电视器和电池组安装好，可以给世界增加安宁了

2. 安装开关

取出电池，从面板上把电池引线拆下来。然后把触控开关的4个腿分开展平，用热胶把开关粘到帽顶上的按钮上（见图B）。用针鼻钳使丝包线穿过按钮旁的帽布，穿过之后继续拉，一直连到帽舌沿。再用一根丝包线同样拉过来，然后把两根电线焊在开关同一侧的两条腿上，扳掉另两条腿，用1/16英寸热缩套管封住焊接口。

如果你用打火机，注意不要直接把热缩套管放在火上烧，把它放在火下方绕火苗缓慢转动直至完全收缩。用针和线把两根电线缝在帽里层的布上，我每个位置缝5圈线，打个平结（见图C）。或者你也可以用热胶粘在上面。

把安装好的关电视器固定在帽舌沿上，让红外发射器正好可以朝前发射。剪掉从帽顶开关伸出的多余的丝包线，让其刚好连到电路板上的开关按钮（见图D）。

3. 安装电池组

把电池组放在帽内顶部的中心位置，电池组的两根电线要朝着帽舌。用热胶把电池粘好，用线或胶把电线像开关电线一样固定。

4. 安装关电视器

剪掉电池组伸出的多余的电线，把它们焊到电路板上的电池组接头（图E中的BATT位置）上，红的接正极，黑的接负极，用1/16英寸热缩套管封住焊接位置。把触控开关伸出的两根电线焊到板载开关的两个相连的接头上，不分正负极。

5. 测试

往电池盒中放入两节电池，可以看到发光二极管开始闪亮。如果没有，迅速取下电池，检查电池引线是不是接反了。你也可以通过数码相机看，如果发现关电视器的4个红外发射器都在闪，说明就对了（通过大多数相机都可以看到红外线）。

关电视器自动关闭之后，按帽顶的按钮可以重启。如果没有重启，仔细检查从帽顶开关到帽舌电路板之间的连线。

6. 最后组装

拿掉电池，用2英寸长的1英寸热缩套管封住电路板。在收缩后，切掉收缩管的一小部分，露出可见光和板载开关。用热熔胶把封好的电路板固定在帽舌下沿，像之前一样使红外发射器朝前。最后，用记号笔或油漆遮住帽子开关的银色部分（见图F）。

一个关于电视的真实故事

我们走进一家餐馆。地方很好——美中不足的是来自不同角落的3个大屏幕电视的吵闹声。没有人想看电视，所以我用关电视器把它们关掉了，甚至都没有顾客注意到。然而服务生觉得有义务再把电视打开。

哈哈，没关系——我又把它们关掉了。服务生叫了经理，经理拿着遥控又把电视打开了，胜利地走开了，电视再次被我关掉。他们站在那里，目瞪口呆的时候，我再次把电视打开，再关上。他们垂着肩膀，承认失败了。我们边吃边聊，很是享受。

我爱我的关电视帽。

单册定价
35元

关注新浪官方微博
http://weibo.com/makeaszz
参与有奖活动

搜狐IT频道的专栏定期更新部分章节
http://it.sohu.com/s2010/make/

亚马逊评价 ★★★★★

《爱上制作》是美国《Make》简体中文版系列书。书中包括日常生活中的各种创意手工制作项目，内容涉及电子、机械、声像、生物、航模、缝纫等方面。

人民邮电出版社 POSTS & TELECOM PRESS　　O'REILLY

2012 Make: 中文版精彩继续……

ARDUINO 全方位接触

专题

观念篇

Arduino与业余电台

实用篇

轻松开始Arduino与Flash网络通信实验

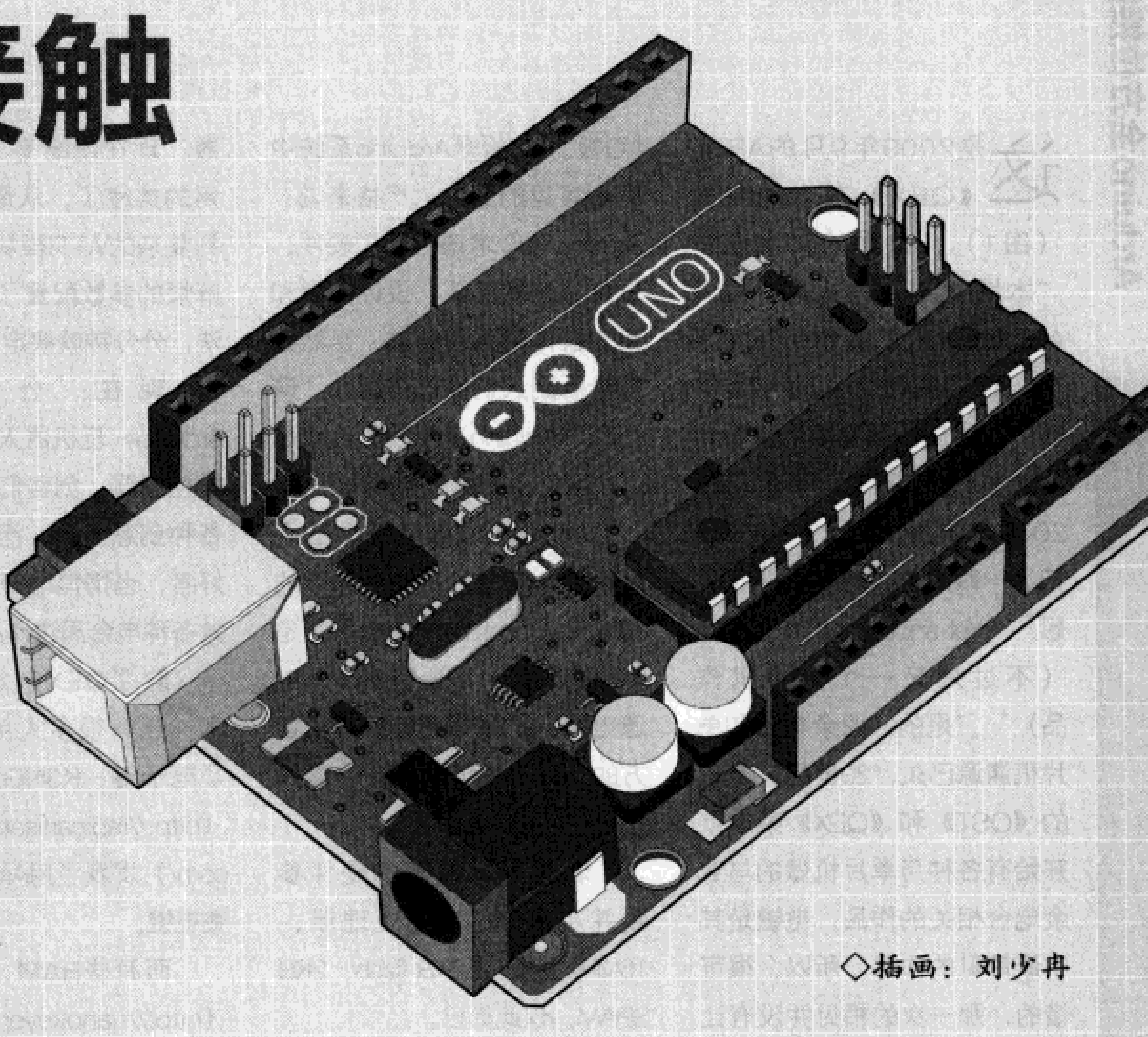
用任天堂 Wii 手柄遥控智能小车吧！

趋势篇

Arduino的ARM朋友

工具篇

Arduino的模拟仿真利器——VirtualBreadboard



◇插画：刘少冉

对于Arduino这个名字,相信大家已经不陌生了。尽管官方谦虚地说“这只是一块AVR开发板”，尽管它的硬件参数并不出众，用的只是8位单片机，但众多拥趸对它的评价还是充满溢美之词：“我彻底地爱上Arduino了！它的自由性、互交性以及它的易用性深深地吸引了我。它没有复杂的单片机底层代码，没有难懂的汇编，只有简单而实用的函数。它具有丰富的接口、简便的编程环境、极大的自由度，可拓展性非常高！它必将引领一个新的时代！”（以上摘自网络。）

而一位熟悉单片机开发的资深人士却说：“别看现在说Arduino有多么好，开发和编程多么简单，其实一般人也就是做个电子钟什么的，用它制作机器人的话，设计限制很多，而且体积大，因为Arduino没有发挥出单片机的最大性能。Arduino更适合电脑上层应用软件圈里的人，作为单片机爱好者和电子爱好者，是不喜欢Arduino的。”

相信如此极端的两种观点不是个案，而是会出现在各种场合，让不少还没体验过Arduino的人心生困惑。

其实，Arduino可以看成一个工具，或者说是一种方法和思路。Arduino改变的是学习、使用的方式，而不是性能。它之所以成为热门话题，正是因为它引入C++类库，提供了简单的编程接口，屏蔽了繁复的寄存器，大大降低了学习单片机的门槛。如今，不光是学软件的学生，就连学美术的学生都可以用各种模块搭建电子制作，并进行编程了，这不是进步吗？

这几篇关于Arduino的文章，从使用心得、具体应用案例、软件仿真，到技术发展前景的不同角度展示了Arduino的易用性。应用案例的增多，也说明越来越多的人开始使用Arduino了。我们建议所有对制作智能电子玩意感兴趣的人，都尝试接触一下Arduino，或许你很快就会领略到它的魅力。

arduino与业余电台

◇翁恺（BA5AG）

这是2009年9月的ARRL《QEX》杂志的封面（图1），上面的文字说："本期KC4IFB向大家介绍以Arduino单片机板作为开发平台，如何设计一个电子键并编程"。这应该是我第一次看到Arduino这个名字。不过，在2009年的那个秋天，我只是扫了一眼图片，哼了一声，心想："Yet another MCU project（不过是又一个单片机作品）"。是的，业余电台和单片机渊源已久，20世纪90年代的《QST》和《QEX》杂志就开始有各种用单片机做的与业余电台相关的作品，电键是其中最常见的作品。所以，很可惜的，那一次的相见并没有让我认识她，甚至，根本就没有记住她。

再次见她，是两年后在中国美院，一群学美术的学生组织了一个创客空间"洋葱胶囊"，他们用Arduino做作品。是的，你没有看错，是学美术的学生，在他们的作品里用上了单片机。这让我惊讶地发现，Arduino已经如此深入圈外人的生活，她似乎已经不再是"another MCU project"，而有了更多的含义。

提到Arduino，大多数人想的是那个小型的、长方形的印制电路板，它其实应该被叫做I/O板。I/O板是Arduino系统中有形可见的部分。严格来说，Arduino这个术语包括了硬件、软件、开发团队、设计哲学和用户群体的互助精神。当然经常会听到人们像这样说："请把那个Arduino递给我"，或是"小明，小心那个Arduino"。

Arduino的I/O板是基于Atmel的AVR单片机的，最新的Arduino Uno上的单片机型号是ATmega328，板上有串口、电源电路、扩展插座等。其实官方的Arduino FAQ也说："这只是一块AVR开发板"。

确实，这板子的硬件参数并不出彩：8位处理器、16MHz主频、32KB flash、2KB SRAM，仅此而已。

让Arduino与众不同的是两件事情：

一是它放弃了复杂的端口复用，给数字和模拟端口定义了简单的数字编号，并在硬件上加以标注。这样人们就不用再去配置端口，去记忆端口和芯片引脚的对应关系了。

二是它提供了简单的编程接口：C++的类库！芯片上的外围设备成了对象，调用对象的方法就可以操纵外围设备了。那些繁复的特殊功能寄存器从视野中消失了，方法调用简单易学。更重要的是，各种外部器件——传感器和动作器，现在纷纷有了给Arduino用的类库了。从最简单的LED到复杂的Wi-Fi模块，再也没有麻烦的参数配置了，对象加方法，分分钟就搞定。

现在，什么人在用Arduino？玩机器人的用Arduino做控制器，创客们用Arduino做各种创意作品，而业余电台爱好者，也悄悄地开始拿Arduino做各种电台周边作品。

除了QEX杂志的那个版本，还有很多人用Arduino做了电子键，K3NG在他的博客（http://radioartisan.wordpress.com/）发表了用Arduino做的竞赛电键。

而有些HAM，如DJ0MY（http://nanokeyer.wordpress.com/），甚至开始做起了生意，出售基于K3NG的设计的竞赛电键nanoKeyer（图2）。当然，作为对传统的传承，他出售的是套件，你需要自己焊接和装配。

Jeff Karney在其网站（http://www.jeffkarney.com）上发表了一个列表，列出了20项用Arduino做的业余电台周边作品。

列表中的第一项，是一家叫做Argent Data System（http://www.argentdata.com）的公司出的一款无线电盾板（采用Arduino插座标准的可堆叠的外设板）。如果你在玩APRS，你一定不会不知道OT2m和OT+，它们就是这家公司的产品。这款盾板提供AX.25的收发能力。于是，简单的几行代码之后，你就能让你的Arduino板连上业余电台的APRS网络了。用它做位置报告、气象报告或其他遥测数据报告就很容易了。

当然还有很多人在尝试类似的事情，更多人做的是如何直接利用这片单片机做APRS数据的收发。KI4MCW（http://sites.google.com/site/ki4mcw）

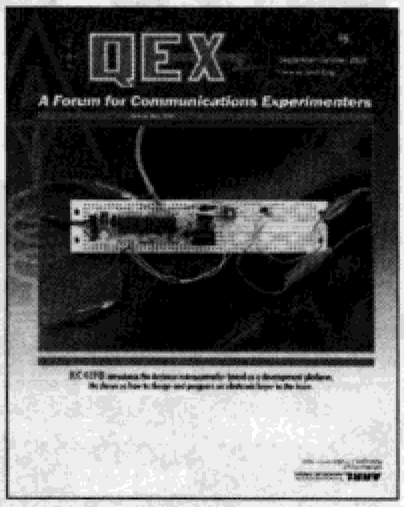


图1

图2 用Arduino做的竞赛电键

附表

硬件	软件	输入	解码数
Arduino	BeRTOS RX	扬声器输出	871
Arduino	BeRTOS RX/TX	扬声器输出	865
TNC-X	标准固件	扬声器输出	818
Arduino	Arduino_tnc_013	扬声器输出	770
ADS OT+	KISS(04-12-2008)	扬声器输出	729
Windows PC	AGWPE 2005.127	线路输出	500
Linux PC	Soundmodem	线路输出	412
Linux PC	Multimon	线路输出	130

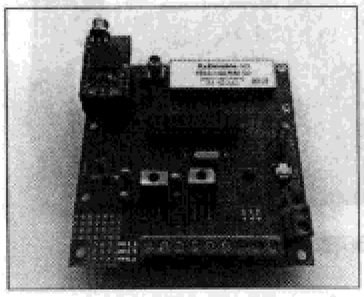


图3 开源的APRS跟踪器Trackuino

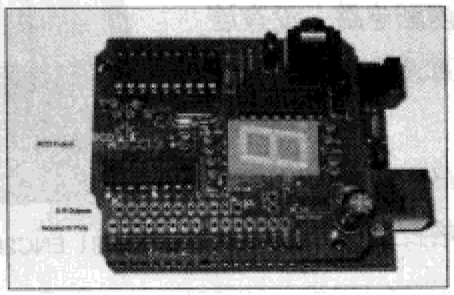


图4 用业余电台的DTMF编码来控制Arduino的作品

起初自己做了一些Arduino程序来实验数据收发，后来他发现一家开源的嵌入式实时操作系统公司BeRTOS（http://www.bertos.org/）居然也推出了基于Arduino硬件的AX.25库，并且做成了一个完整的TNC。他对几种不同硬件/软件实现的数据收发方案进行了测试，给出了有趣的结果（见附表）。

说结果有趣是因为，我们通常会以为PC强大的运算能力和优秀的声卡硬件会得到比较好的结果，但是廉价的Arduino却给了我们意外的惊喜。从Arduino硬件的三种不同表现也可以看到，软件的优劣起到了重要的作用。

Jason Komp（http://hackaday.com/author/rocketgsx1/）把Arduino和GPS模块、发射模块装在一起，做出了一个开源的APRS跟踪器Trackuino（图3）

既然Arduino是个单片机，当然所有可以用单片机做的作品都有可能用Arduino来做。有人就做了用Arduino控制DDS-60的产品（http://midnightdesignsolutions.com/dds60/index.html），而KO7M则拿这个产品做了一个WSPR（微弱信号传播报告，http://wsprnet.org）的信标。

别人都在用Arduino为业余电台做东西，而Mike Szczys（http://hackaday.com/author/mikehackaday/）却反过来，做了个用业余电台的DTMF编码来控制Arduino的作品（图4）。用DTMF的10个数字键可以遥控输出10路控制信号。他的作品是基于W2MH（http://w2mh.wordpress.com）的DTMF盾板的。

最后，给大家看一个国内爱好者做的作品，这是杭州二中的高一学生杨垒做的简易APRS气象站（图5）。它接入了一个DHT22户外型温度/湿度传感器和一个BMP085大气压传感器。这两个器件都有现成的Arduino库，因此简单的几个函数调用就可以获得直接的读数。然后，在这块Arduino Uno的板子上插了基于W5100的以太网盾板，用网线接上家里的网络，通过DHCP获得IP地址，就可以连接APRS服务器发送气象数据了。在http://aprs.fi等APRS网站可以实时看到这个设备发送的数据，而且可以看到历史记录。这是今年5月第一个星期我家的气温和露点变化曲线（图6）。

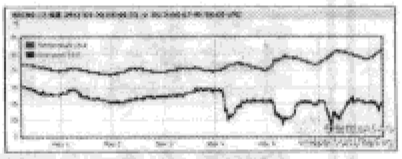


图6 气温和露点变化曲线图

当你出差或求学时，还能时刻获得家里的消息，是不是不再觉得离家很远了呢？

这里所有的硬件现在都可以购买到，而全部的程序加起来还不到200行。

怎么样，有想法了吧！那就快快行动起来吧，Arduino很简单，谁都学得会，你需要的就是想法。想到自己要做什么，就用Arduino来试试吧。期待能看到你的作品哦。

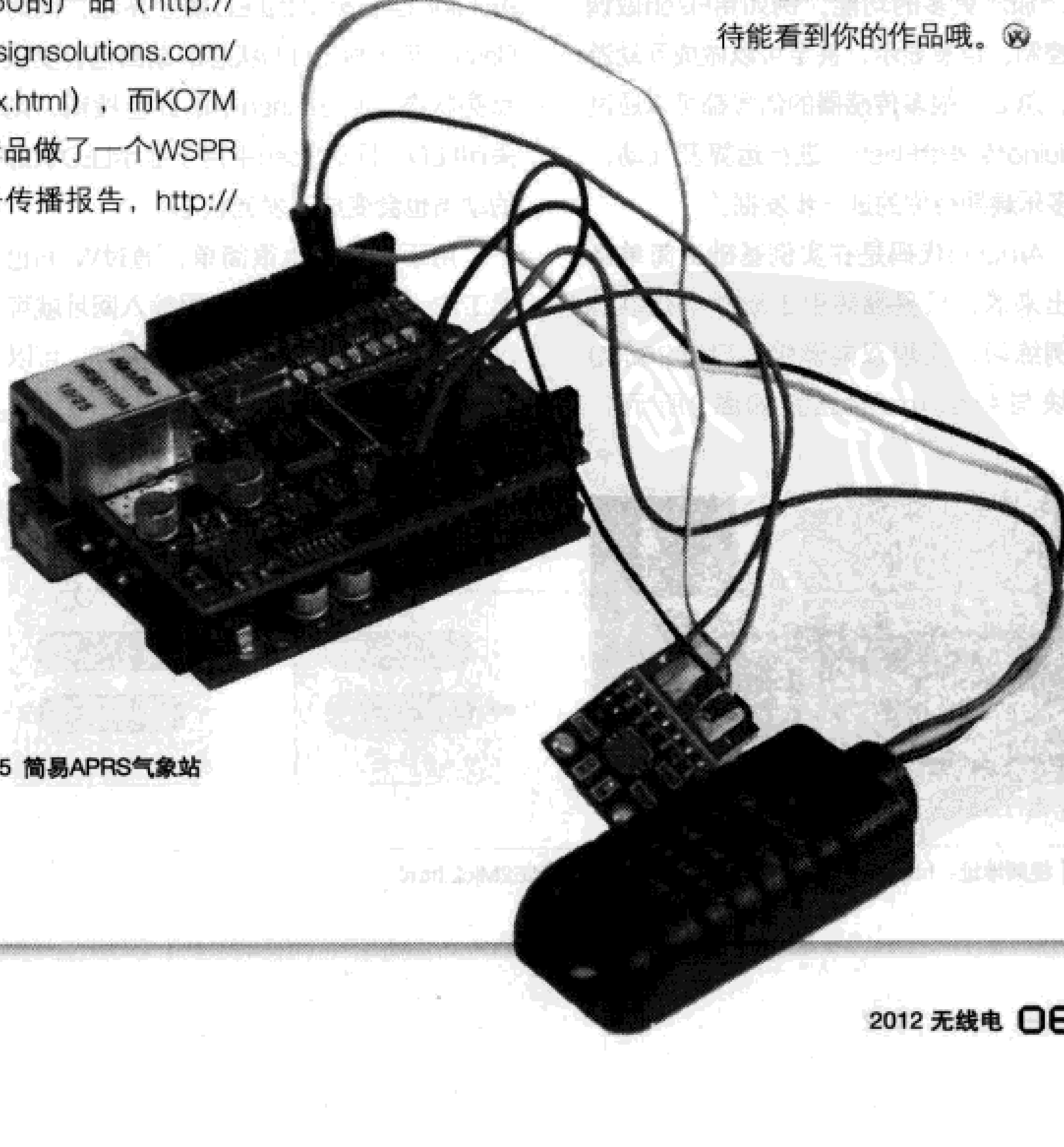


图5 简易APRS气象站

轻松开始arduino与flash网络通信实验

◇毛小明

下班后，我看着桌边的Arduino老觉得手痒，正好又翻出一块ENC28J60模块，如图1所示。这是我以前买的成品网络组件，前两周简单连过一次，没有成功，能ping通，但无法进行http访问。总的来说，感觉它的示例库有点简陋，连个子网掩码什么的都没有配置，加上板子工作电压是3.3V的，加了一大堆匹配电路，没有连成，也就没再追究。后来，我发现ENC28J60_for_arduino_v1.0新库发行了，下载下来，一看功能也比以前丰富了许多，正好今天就练练手吧！

小心接好后，upload一下，然后打开浏览器，一个熟悉的“Hello world！”呈现在面前，激动之情溢于言表。有了这个成功，我迫不及待地想把我最想实验的项目——Arduino与Flash进行网络通信搞定。

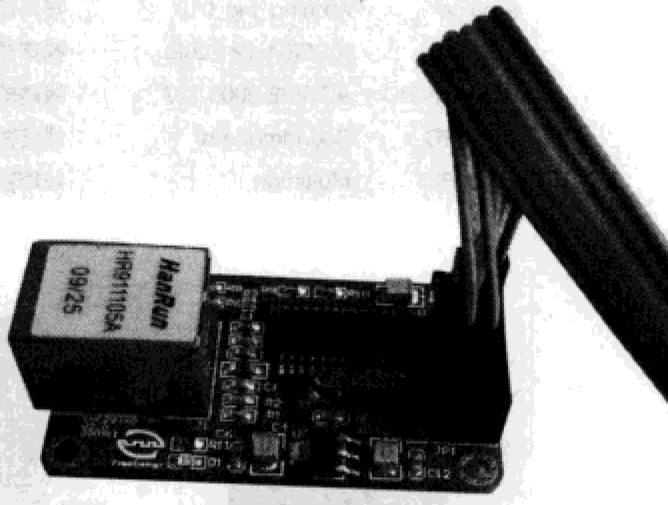


图1 ENC28J60模块

我做Flash算是轻车熟路，当然，我的技术也很陈旧，是从Flash 4学过来的，一直学到MX就因为时间原因挂科了，然后几年都没动过。

Flash无论做操作界面或是显示界面都很合适，在此基础上，还可以继续完善，加入更多的功能。例如用Flash做调光控制、信息显示，甚至可以做成互动游戏。总之，很多传感器的信号都可以通过Arduino传递给Flash，进行运算及互动，更多乐趣期待你的进一步发掘。

Arduino代码是在实例基础上简单修改出来的，只是抛砖引玉地做个简单的实例练习，实现双向通信。ENC28J60模块与Arduino的连接如图2所示，ENC28J60模块与外围电路的连接如图3所示。

做好Flash后，一次调通，极为顺利。更改一下电脑的全局设置，就可以很方便地从本地连接网络了。运行效果如图4所示，点击Flash中的绿色按钮，Arduino控制板上的LED就会亮起，同时Flash中用于显示LED状态的动画也会变成点亮状态。点击Flash中的红色按钮，则关闭LED，同时Flash中用于显示LED状态的动画也会变成不发光状态。

用手机使用也很简单，通过Wi-Fi也能工作，直接用自带浏览器输入网址就可以使用，如果有人想在被窝里关灯，可以参考这个例子。

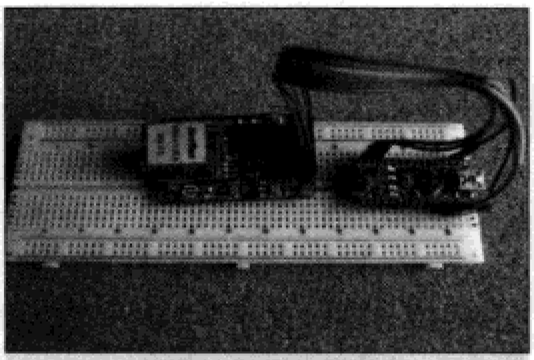


图2 ENC28J60模块与Arduino连接

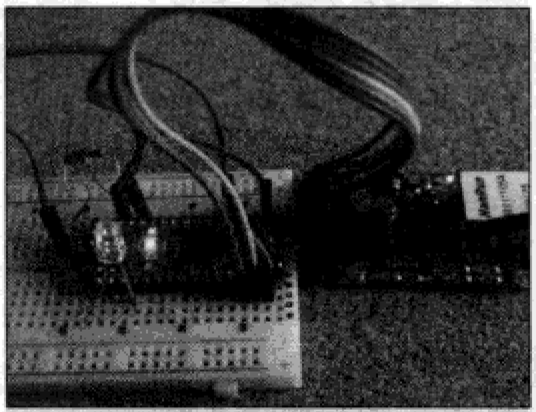


图3 ENC28J60模块连接外围电路

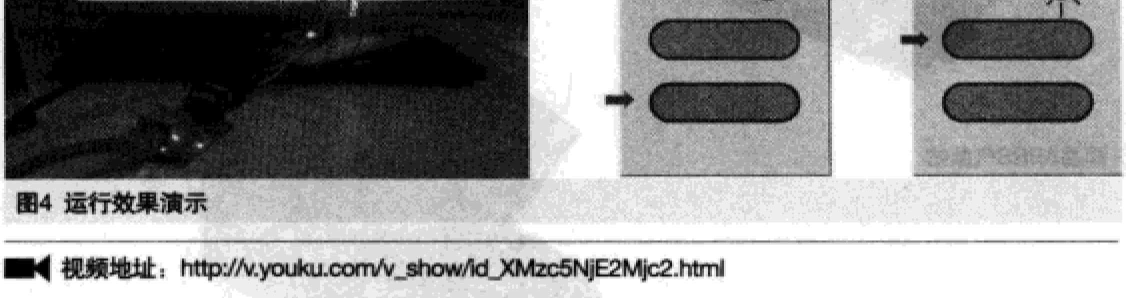


图4 运行效果演示

视频地址：http://v.youku.com/v_show/id_XMzc5NjE2Mjc2.html

引脚连接

ENC28J60模块	Arduino
CS	10
MOSI	11
MISO	12
SCK	13

Arduino与Flash的通信过程

按下Flash里的绿色按键后，执行如下代码：

```
loadVariablesNum("http://192.168.1.215/?cmd=on", 0);
```

Flash通过http协议访问Arduino的IP地址，同时发送指令字符串“cmd=on”。

Arduino接受请求后，以如下代码对指令做出解析，判断指令符合后，执行操作，驱动LED端输出。

```
strcmp(params,"?cmd=on")== 0
```

操作执行完毕，将下列指令通过http协议回传给Flash，反馈LED状态信号。

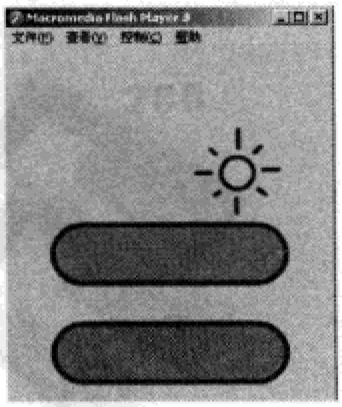
```
e.print("&ButtonStatus=1");
```

Flash接收到状态信号后，执行场景切换，将指示灯的画面动画切换为发光图标，以显示LED操作状态。

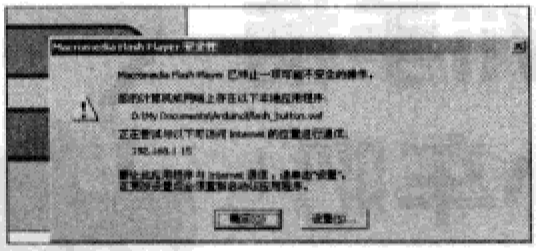
```
if (ButtonStatus == 1) {
this.LampStatus.gotoAndStop( "on" );//控制动画显示开关状态，发光
}elseif(ButtonStatus == 0)
{
this.LampStatus.gotoAndStop( "off" ); //控制动画显示开关状态，不发光
}
```

调试时，有个细节需要注意，使用Flash播放器的时候，由于Flash Player有严格的网络连接安全策略，需要改一下“全局安全设置”。操作如下：

1 用Flash Player打开文件后，显示操作界面。



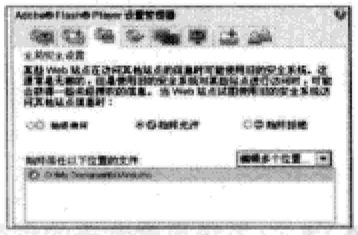
2 按下任意按钮后，提示连接网络。



3 添加Flash文件所在目录。

4 选中该目录，然后确认。

5 选中“始终允许”，以后这个文件夹的 Flash 需要联网的话，就不会询问了。



■ 相关程序请到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn上下载。

Arduino代码

```
#include "etherShield.h"
#include "ETHER_28J60.h"
int outputPin=6;//第6脚接了个LED
static uint8_t mac[6] = {0x54, 0x55, 0x58, 0x10, 0x00, 0x24}; //定义网卡的MAC地址,注意不能和现有设备冲突
static uint8_t ip[4] = {192,168,1,215};// 定义IP地址
static uint16_t port=80;//端口号，如果没有特殊需求，就填默认的80即可
ETHER_28J60 e;
void setup()
{
 e.setup(mac, ip, port);
 pinMode(outputPin, OUTPUT);
}
void loop()
{
 char* params;
 if (params = e.serviceRequest())
 {
  e.print( "A0read=" );
  e.print(analogRead(1));//读取并输出A0端数值，这里我连接了一个光敏电阻，可以读取环境亮度。
  if(strcmp(params, "?cmd=on" )== 0)
  {
   digitalWrite(outputPin, HIGH);
   //点亮LED
   e.print( "&ButtonStatus=1" );
  }
  else if (strcmp(params, "?cmd=off" ) == 0)
  {
   digitalWrite(outputPin, LOW);//熄灭LED
   e.print( "&ButtonStatus=0" );
  }
  e.respond();
 }
}
```

Flash代码：主场景

```
loadVariablesNum("http://192.168.1.215",0);
A0readDisplay = A0read;//显示Arduino的A0数据
if (ButtonStatus == 1) {
this.LampStatus.gotoAndStop( "on" );//控制动画显示开关状态
} else if (ButtonStatus == 0) {
this.LampStatus.gotoAndStop( "off" );//控制动画显示开关状态 }
```

Flash代码：按钮开

```
on (release) {loadVariablesNum("http://192.168.1.215/?cmd=on", 0);}
```

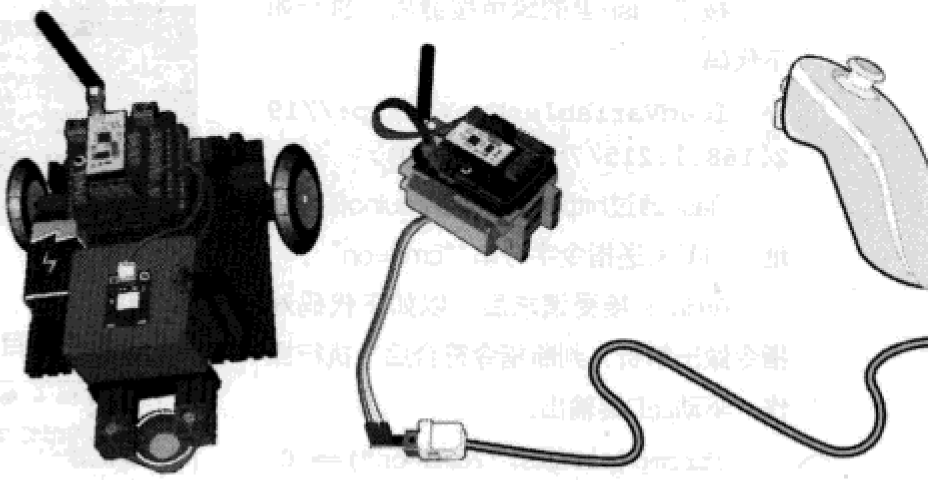
Flash代码：按钮关

```
on (release) {loadVariablesNum( "http://192.168.1.215/?cmd=off" , 0);}
```

基于Arduino和慧鱼创意组合模型的制作

用任天堂Wii手柄遥控智能小车吧！

◇宜昌城老张 ◇插画：刘少冉



Arduino系统风靡欧美的创客界，为什么人们都选择Arduino作为创意工具，我认为主要有两点原因：易用、好用。

易用： 只要你具备C语言的编程能力和基本的硬件常识，就可以立即上手，制作出基于单片机技术的创意作品。Arduino系统的核心是AVR单片机，但你不需了解MCU、存储器和接口电路之间的结构关系，也不需要了解数据总线、地址总线和控制总线在程序机器码执行时如何相互配合，甚至不用考虑那些决定MCU如何工作的寄存器参数如何设置，你可以把Arduino当成一个魔盒，只要知道按钮、传感器、指示灯和电机等输入/输出模块的传输线连接到Arduino控制器的哪个端子上就行，然后就可以在Arduino软件强大而丰富的库文件的支撑下，用简明通俗的语言编制程序，让输入模块与输出模块产生互动。

好用： 过去我们做电子创意作品，往往用一个个电阻、电容、运放和变压器等分立元件在面包板或实验板上进行搭接，或许只能制作出如走马灯和秒表计时器等低端的作品。现在Arduino控制器拥有非常丰富的周边模块，如直流电机驱动模块、无线通信模块、液晶显示模块以及各类传感器模块，借助这些模块，你就能放大自己的创意能力，像搭积木一样方便、高效地制作更酷、更显档次的作品，比如遥控履带车、仿生机械手和双足机器人。

任天堂Wii手柄

Wii 是日本任天堂公司在2006年11月推出的第5代家用游戏主机，其最大特点是具有前所未有的体感控制器操作方式。一套Wii，包含主机、专用感应器和左手控制器NunChuck 、右手控制器Wii Remote，也就是国内俗称的“双节棍手柄”（见图1）。一左一右两个遥控器都内置了3轴重力加速度传感器，通过蓝牙与主机通信。

无线控制和动作感应是Wii系统提供的一种直观而自然的游戏操作方式。通过双手挥动左右手柄，可以面对银幕，感受拳击、冲浪甚至驾驶飞机的乐趣。

你手握Wii手柄，在屏幕中的虚拟世界里一定玩得很high，那么能不能用它来操控现实世界里的机器人呢？这应该也是很有趣的。现在有办法了，Wii手柄可以通过Arduino系统来操控机器人。笔者制作的用Wii左手柄NunChuck来遥控的智能小车如图2所示。

图1 任天堂Wii左右手柄

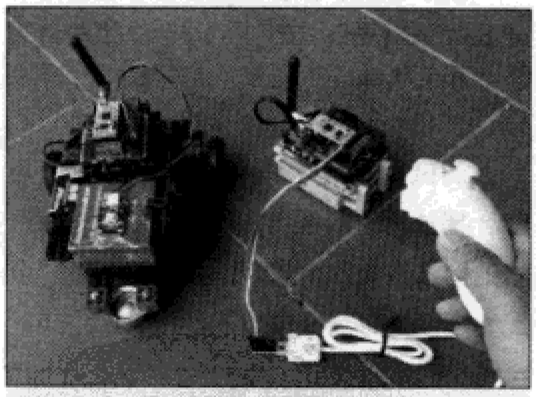


图2 用任天堂Wii手柄遥控的智能小车

RF无线数传模块APC220的使用

任天堂Wii手柄遥控慧鱼车的项目用到了RF无线数传套件，型号为APC220，如图3所示。APC220是高度集成、半双工、微功率无线数据传输模块，它集成了高速单片机、高性能射频芯片和TTL串口

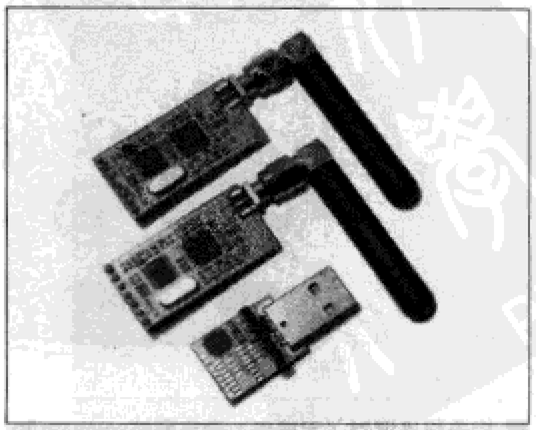


图3 RF无线数传套件APC220

观念篇 实用篇 趋势篇 工具篇

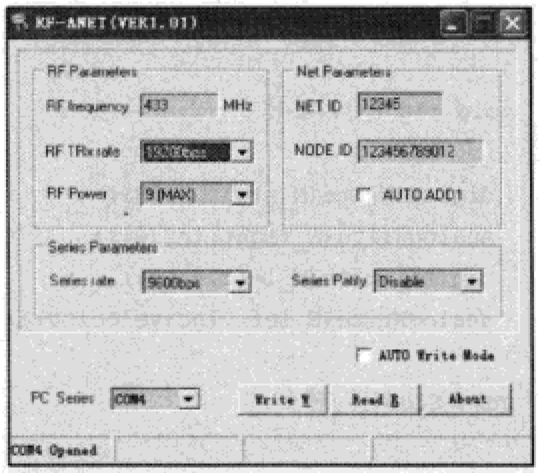


图4 APC220参数设置

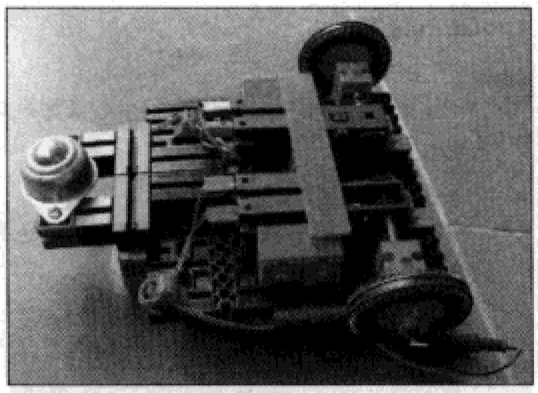


图5 智能小车的结构

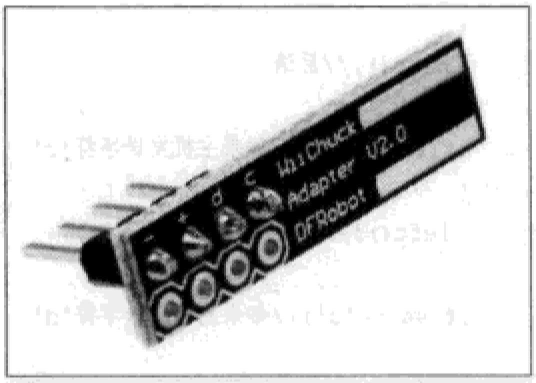


图6 Wii Chuck 转换器

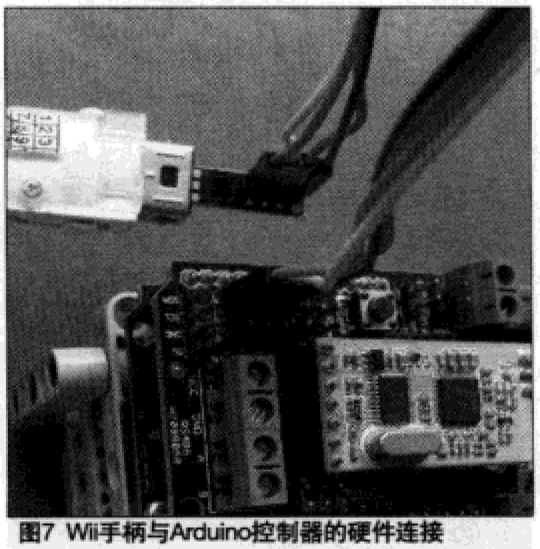


图7 Wii手柄与Arduino控制器的硬件连接

接口，不仅可以实现双Arduino控制器之间的无线通信，而且配合1个USB转换器，可以实现PC与Arduino单片机之间的无线通信，无线通信距离可达1000m。

要用这个套件，首先要安装USB转RS232的驱动程序CP210x_VCP_Win2K_XP_S2K3，然后插上套件自带的USB适配器，你可以在Windows的设备管理器里看到USB转RS232驱动所生成的串口号是什么。

用厂家的RF-ANET软件给无线数传套件设置通信参数，注意软件设置窗口的PC Series选项的串口号，就是你刚在Windows设备管理器里看到的串口号，如图4所示。另外一定要把这个套件的两个无线通信模块都通过USB适配器进行设置，设置的参数应该一模一样。

安装驱动和设置参数后，就可以用RS232串口进行无线通信了，我感觉就像用RS232有线通信一样，方便极了。

智能小车的结构

三轮智能车的车体是用慧鱼（fischertechnik）创意组合套件迅速搭建的，如图5所示，前面是一个万向轮，后面两个是主动轮，由两个直流电机带动。通过两个电机的转速和转向的变化，实现小车前后、左右的行走。小车的前方还有一个车灯，天黑时，用以照亮周围活动场地。

Wii手柄与Arduino控制器的硬件接口方法

如果你已经具备了Arduino控制板、Arduino XBee传感器扩展板V5、APC220无线通信模块、Wii NunChuck手柄和智能小车，另外还需要一硬一软两个利器，硬件是Wii Chuck 转换器，软件是WiiChuck库文件。Wii Nunchuck 转换器如图6所示，库文件可向硬件提供商索取。

Wii手柄、Wii Chuck转换器与Arduino三者之间的连接非常简单，先把WiiChuck转换器插到Wii Nunchuck手柄接口上（注意正反），然后再把Wii Chuck的c、d、+、-分别插到Arduino XBee传感器扩展板V5的模拟量接口5、4、3、2上就可以了。为什么要把Wii Chuck转换器插到传感器扩展板上，而不直接插到Arduino控制板上，是因为这个项目需要APC220无线通信模块，而APC220模块可以方便地插到扩展板专用的APC插槽中，所以要先把扩展板层叠在控制板上，再在扩展板上插入APC220模块和Wii Chuck转换器，这样它们就可以集成在一起，方便遥控操作，如图7所示。

任天堂Wii手柄遥控慧鱼车程序

如何对Wii手柄中的数据进行处理，通过无线通信向智能小车发出命令，让小车前后、左右行走并开关车灯？我举例来说明，手柄前倾时，三轴加速度感应的Y轴数据如果大于155，则向小车发出前进命令，手柄后仰时，三轴加速度感应的Y轴数据如果小于115，则向小车发出后退命令。下面给出有详细注释的程序清单。

Wii遥控器主机程序

```
/*Wii手柄使用说明：
手握Wii手柄，前倾或后仰，发出小车前进或者后退命令，
向左或向右拧动手柄，发出小车左转或右转命令，
手柄居中不动，则小车不动，
按动Wii手柄前端的Z按键，开关车灯。*/
#include <math.h>
#include <stdlib.h>
#include "Wire.h"
#include "WiiChuck.h"
//定义wii为WiiChuck类变量
WiiChuck wii = WiiChuck();
char flag;//存储遥控器主机向遥控车上的从机发送“标志”数据
int val;//存储Wii的Z按键的当前读取值
int old_val;//存储Wii的Z按键上次程序执行时的读取值
int state=0;//存储主机向遥控车上的LED灯发送的亮灭状态
//初始化
void setup()
{
 wii.initWithPower();
```

```
 Serial.begin(9600);//启动串口通信，通信波特率为9600bit/s
}
//主程序
void loop()
{
 if (wii.read() == true)
 {
  //如果Wii手柄前倾
  if(wii.getAccelAxisY()>155)
  {
   flag='a';
   Serial.print(flag);//向遥控车从机发送小车前进命令
  }
  //如果Wii手柄后仰
  else if(wii.getAccelAxisY()<115)
  {
   flag='b';
   Serial.print(flag);//向遥控车从机发送小车后退命令
  }
  //如果向左拧动手柄
  else if(wii.getAccelAxisX()<95)
  {
   flag='c';
   Serial.print(flag);//向遥控车从机发送小车向左命令
  }
  //如果向右拧动手柄
  else if(wii.getAccelAxisX()>155)
  {
   flag='d';
   Serial.print(flag);//向遥控车从机发送小车向右命令
  }
  //否则
  else
  {
   flag='e';
   Serial.print(flag);//向遥控车从机发送小车停止命令
  }
  //读取Wii手柄的Z按键数字量信息，控制车上的LED亮灭
  val=wii.getButtonZ();
  if((val==0)&&(old_val==1))
  {
   state=1-state;
   delay(10);
  }
  old_val=val;
  if(state==1)
  {
   flag='f';
   Serial.print(flag);//向从机发送灯亮标志
  }
  else
  {
   flag='g';
   Serial.print(flag);//向从机发送灯灭标志
  }
  delay(50);
 }
}
```

遥控车从机程序

```
int E_right=5;//连接电机1的使能端口到数字接口5
int M_right=4;//连接电机1的转向端口到数字接口4
int E_left=6;//连接电机2的使能端口到数字接口6
int M_left=7;//连接电机2的转向端口到数字接口7
int LED=2;//车灯LED连在数字端口2
int val;//存储遥控器主机向遥控车上的从机发送数据
float velocity=255;//车速调节
void setup()
{
 //给各数字接口设置输入输出状态
 pinMode(M_right, OUTPUT);
 pinMode(E_right, OUTPUT);
 pinMode(M_left, OUTPUT);
 pinMode(E_left, OUTPUT);
 pinMode(LED,OUTPUT);
 digitalWrite(LED, HIGH);
 Serial.begin(9600);//设置串行通信的波特率
}
void advance()//前进
{
 digitalWrite(M_right,HIGH);
 analogWrite(E_right,int(velocity));
 digitalWrite(M_left,HIGH);
 analogWrite(E_left,int(velocity));
}
void back()//后退
{
 digitalWrite(M_right,LOW);
 analogWrite(E_right,int(velocity));
 digitalWrite(M_left,LOW);
 analogWrite(E_left,int(velocity));
}
void left()//左转
{
 digitalWrite(M_right,HIGH);
 analogWrite(E_right,int(velocity));
 digitalWrite(M_left,HIGH);
 analogWrite(E_left,int(0));
}
void right()//右转
{
 digitalWrite(M_right,HIGH);
 analogWrite(E_right,int(0));
 digitalWrite(M_left,HIGH);
 analogWrite(E_left,int(velocity));
}
void Stop()//停止
{
 digitalWrite(E_right,LOW);//右电机停
 digitalWrite(E_left,LOW);//左电机停
}
void loop()
{
 if(Serial.available()>0) //查询串口有无数据
 {
  val=Serial.read();//读取主机发送的数据
  if(val=='a')//如果主机发送字符'a',
  {
   advance();//前进
  }
  if(val=='b')//如果主机发送字符'b',
  {
   back();//后退
  }
  if(val=='c')//如果主机发送字符'c',
  {
   left();//左转
  }
  if(val=='d')//如果主机发送字符'd',
  {
   right();//右转
  }
  if(val=='e')//如果主机发送字符'e',
  {
   Stop();//停止
  }
  if(val=='f')
  {digitalWrite(LED, LOW); //车灯LED灯亮
  }
  if(val=='g')
  {digitalWrite(LED, HIGH);//车灯LED灯灭
  }
 }
}
```

arduino的ARM朋友

◇程晨

随着使用Arduino的人越来越多，与之相配套的模块以及相应的应用程序库也越来越多，硬件开发人员在惊叹为什么Arduino如此简单但如此之火的同时，也在不断地重复着同样的声音："Arduino只是8位的单片机，晶体振荡器也才16MHz，速度太慢，存储空间太小了"。于是就诞生了ARM的、FPGA的Arduino。不管它们是想在Arduino的领域分一杯羹，还是想让Arduino发展得更强大，总之，对于我们做开源硬件的人来说，这是一个好事情，今天，就让我们来看看Arduino的这些ARM版的朋友。

maple

首先介绍的是一款与Arduino相似度极高的产品——Maple，见图1。

Maple 是由麻省理工学院（MIT）的LeafLabs设计研发的，硬件结构上完全兼容Arduino标准版（UNO），但Maple的处理器比Arduino要高出很多，采用的是32位的72MHz ARM Cortex M3芯片，同时还扩展出18个I/O口。Maple的软件开发环境也是采用开源的Java编写的，和Arduino基本一致，编译器和语法与Arduino非常相似，几乎所有函数都与Arduino相同，易于上手。Maple与Arduino开发环境的对比见图2和图3。关键是Maple的价格并不比原版的Arduino 贵多少，你可以登录LeafLabs的网站（http://leaflabs.com）了解更多信息。

如果你已经在使用Arduino编写一些简单的程序，那么这些程序基本不用修改就可以应用到Maple上，但是如果程序比较复杂，可能就会有一些问题，比如基于SPI、I^2C通信之类的，因为现在使用Maple的人还没有使用Arduino的多，所以没有Arduino这么丰富的库资源，较为复杂的程序可能需要我们做一下简单的移植。

目前，国内的OpenDrone团队正在用Maple做一个开源的4轴飞行器的控制板——FlyMaple，见图4。

控制板硬件由DFRobot创始人之一庄明波先生设计完成，板上集成了3轴加速度传感器、3轴电子罗盘、3轴陀螺仪和气压计，更多的内容可以登录OpenDrone的网站（http://www.open-drone.org）了解。安装了FlyMaple之后的4轴飞行器见图5、图6，FlyMaple上还插接了一个Arduino扩展板来连接zigBee无线模块，进行控制。

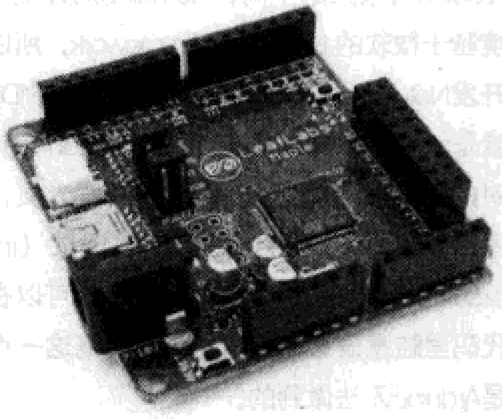


图1 Maple

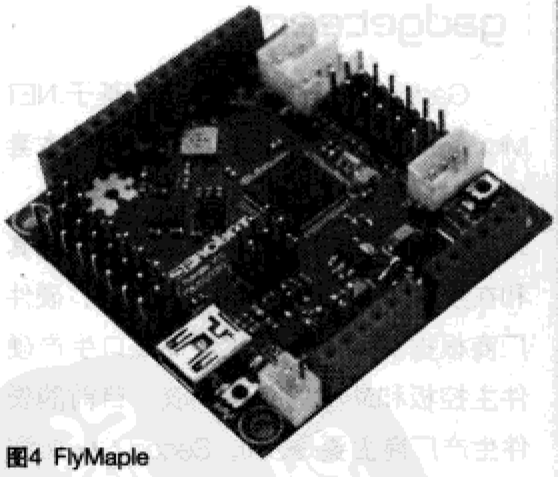


图4 FlyMaple

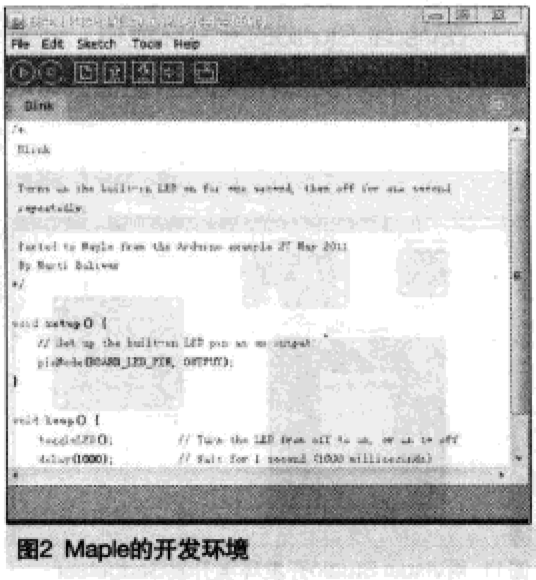


图2 Maple的开发环境

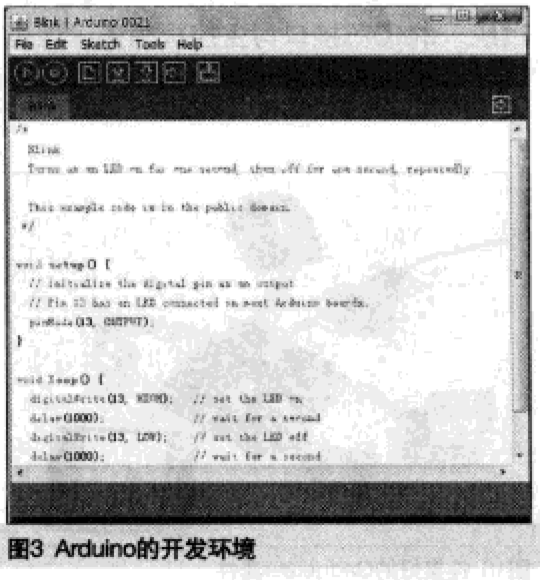


图3 Arduino的开发环境

图6 安装了FlyMaple的四轴飞行器

netduino

Netduino的外形还是很接近的Arduino的，见图7，拥有14个数字I/O口、6个模拟输入口，1个USB口（USB口改为手机端通用的mini USB ）和外部电源口，甚至在它的13脚也像Arduino一样接了一个LED。它的处理器采用的是Atmel的 32位ARM7，频率为48MHz，这使得它的性能远优于Arduino。从外形上看，Netduino要比Maple更像Arduino，但为什么第二个介绍它呢，根本原因是它的开发环境与Arduino有很大的不同，Netduino的开发环境基于微软的.NET Micro Framework，所以开发Netduino只能使用C#，Netduino的IDE就是Visual Studio，显而易见，Netduino针对的用户就是数量庞大的VC开发人员，同时Netduino支持仿真和在线调试（in-circuit debugging），也就是说，你可以在代码里随意设置断点进行调试，而这一点是Arduino无法做到的。

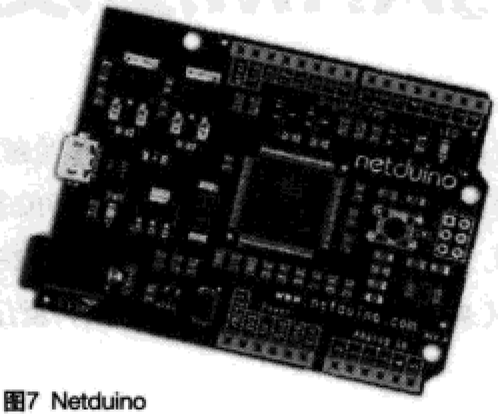


图7 Netduino

图8 Netduino GO

Arduino的使用者如果要学习Netduino还是有一定难度的，因为它们的编程环境、硬件库资源、编程思想都有很大的区别。Netduino更像是借了Arduino的这阵风，让更多的VC程序员认为自己可以进行一些硬件的开发，或者是让硬件开发人员认为也可以顺便学习一下C#，但这都需要一段时间来演变，没有各式各样的成熟的硬件库作为支持，Netduino的发展应该没有想象得那么顺利。

近日Netduino推出了它的新产品Netduino GO，见图8，这更让我觉得Netduino只是一个布局性的产品。微软想打造一套基于VC开发环境的开源硬件平台，如果想了解这个Netduino GO有什么不同，我们需要先来了解一下Gadgeteer。

gadgeteer

Gadgeteer是由微软推动的基于.NET Micro Framework 和C#的开源电子积木套件，开发环境就是微软的Visual Studio，采用面向对象的软件接口，同样支持仿真和在线调试（in-circuit debugging），硬件厂商根据提供的标准化硬件接口生产硬件主控板和外围的各种模块，目前的硬件生产厂商主要是GHI、Seeed Studio和DFRobot。该套件特别适合对嵌入式硬件不够熟悉的C#程序员快速地搭建硬件原型。目前Gadgeteer套件内使用较多的是Spider主控板。

大家一定发现了Netduino GO和Gadgeteer主控板的接口很像，实际上Netduino GO就是采用了Gadgeteer的接口标准。Gadgeteer套件的各种外围模块通过统一的10芯接口与主控板相连，这是一种面向对象的接口定义方式，每一个10芯的接口上通过字母和数字来表示该接口的功能与作用，主控板的接口与模块的接口功能与作用一致才能使用。Spider主控板采用了32位的72MHz ARM7芯片，其接口定义如图9所示。目前已经有了摄像头模块、液晶显示模块、网络模块、按键模块等，见图10。

在Visual Studio的开发环境中，还集成了一个可视化的编程环境帮助你快速地

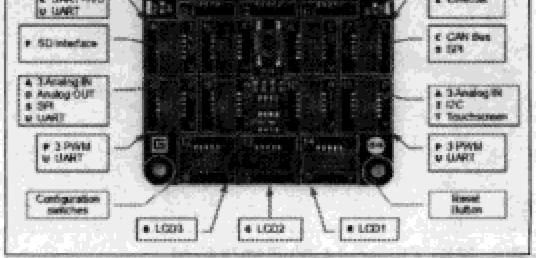


图9 Spider主控板的接口定义

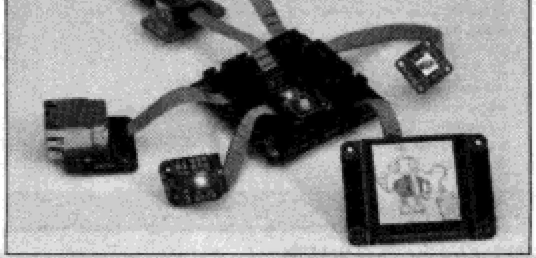


图10 连接好的Gadgeteer套件

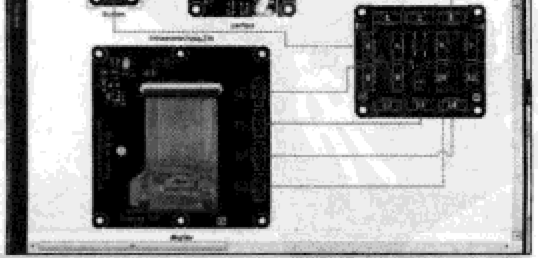


图11 用Visual Studio开发环境开发Gadgeteer

arduino的模拟仿真利器 ——VirtualBreadboard

◇朱广俊

目前开源的Arduino平台非常火热，仿真的软件却并不多。诸如Proteus、Emulare等，虽然有的专业，有的免费，但总是有些差强人意，这里笔者为大家介绍一款专门的Arduino仿真利器——VirtualBreadboard。

VirtualBreadboard（以下简称VBB），中文名可直译为“虚拟面包板”，是通过单片机实现嵌入式软件的模拟器和开发环境。VBB非常简单易用，你可以轻松地用它取代日常使用的面包板。更加令人兴奋的是，它不但可以像著名的Fritzing一样包括所有Arduino的样例电路，可以实

VBB拥有如下特点：

1 先做原型模拟，然后快速实现。
2 界面友好，具有可视化的模拟和交互效果，可以实时看到LED的闪烁和电机的转动。
3 100%安全的电子实验，不必担心触电或者冒烟。
4 可分享你的作品，或下载他人分享的模块。
5 通过样例来快速学习。

使用Gadgeteer套件，如图11所示。

目前Gadgeteer有3款主控板，除Spider之外，还有Hydra和Cerberus，分别采用了240MHz ARM9处理器和168MHz STM32F2/F4处理器，相关的图片和信息以及外围的硬件模块可以查看Gadgeteer的网站（http://www.netmf.com/gadgeteer）。

toyduino

如果一名Arduino的使用者想使用Gadgeteer的外围模块，但又不想去学习面向对象的复杂的C#，该怎么办呢？没关系，现在DFRobot公司开发了Toyduino，它是基于Arduino Mega1280，采用Gadgeteer接口的开源电子积木主控板，产品外观见图12。

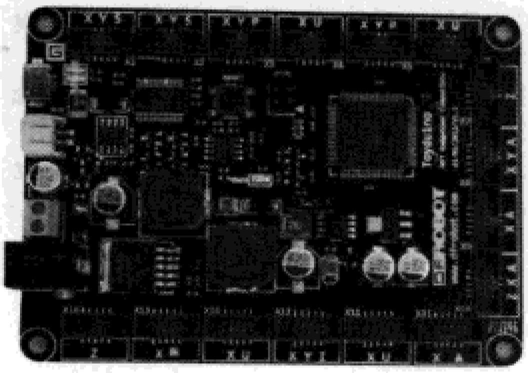


图12 Toyduino

控制板	处理器	接口	开发环境	点评
Arduino	AVR单片机	Arduino标准	开源的Java开发环境	使用简单、硬件库丰富
Maple	ARM系列	Arduino标准	开源的Java开发环境	兼容Arduino大部分的代码与硬件库
Netduino	ARM系列	Arduino标准或Gadgeteer标准	Visual Studio	面向对象的硬件开发，硬件上支持Arduino的外围硬件模块，支持仿真和在线调试
Gadgeteer	ARM系列	Gadgeteer标准	Visual Studio	面向对象的硬件开发，支持仿真和在线调试
Toyduino	AVR单片机	Arduino标准和Gadgeteer标准	开源的Java开发环境	使用简单，使用Arduino的开发环境与代码，同时可使用Gadgeteer的外围硬件模块

Toyduino的开发环境沿用了Arduino的IDE，提供了大量外围硬件模块的库文件及应用样例代码，让使用者能够快速上手使用这些模块，由于Toyduino依然使用AVR的处理器，不属于Arduino 的ARM版朋友，这里就不介绍太多了，大家可以继续关注《无线电》杂志，了解Toyduino的进一步动态。

最后，我们列一张表将这4种控制板与Arduino做一个比较。

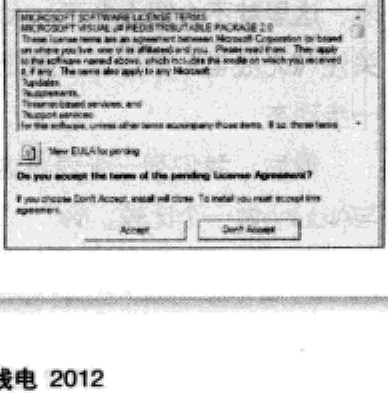
现面包板电路的设计和布置，还包括所有样例程序，并可实现对程序的仿真调试！当然，VBB的强大不仅如此，它还支持PIC系列芯片、Netduino，以及Java、VB、C++等主流编程环境。

VBB可以模拟Arduino和各种各样的电子模块，例如液晶屏、舵机、逻辑数字电路以及其他的输入/输出设备。这些部件可以直接使用，还可以通过组合，设计出更复杂的电路和模块。也就是说，即使在零件库里没有你想要的零件，你也可以轻松地从网上的分享区下载，或者自己设计制作一个全新的部件。

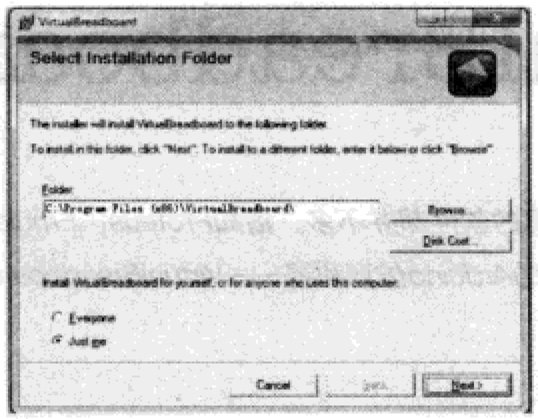
不难看出，VBB目前更多专注于教育领域。官方版本更新得十分频繁，每个月都会有升级，最新版本为4.15，已经支持Arduino UNO 和 Arduino 1.0。不过这个曾经免费的软件，目前已经收费，单用户要49美元，可以无限制使用并且免费升级1年。不想花钱的话，你可以在官方网站（www.virtualbreadboard.com）下载免费版本VBB Express，它的功能和Fritzing一样，可以快速实现面包板电路的设计。

VBB的安装

1 运行setup.exe安装文件，弹出安装界面，软件会要求安装Microsoft Visual J# .NET Redistributable Package 2.0这个组件。需要注意的是，此组件不包含在安装包内，因此需要联网环境，下载所需组件。点击“Accept”之后，软件便会开始下载和安装，之后继续点击“NEXT”即可完成软件的安装。在安装的过程中有两个选项——Microchip MPLAB Plugin和NetDuino VBB Emulator with .NET Micro Framework for Visual Studio， 如果只是普通的模拟仿真，可以取消选择此插件。



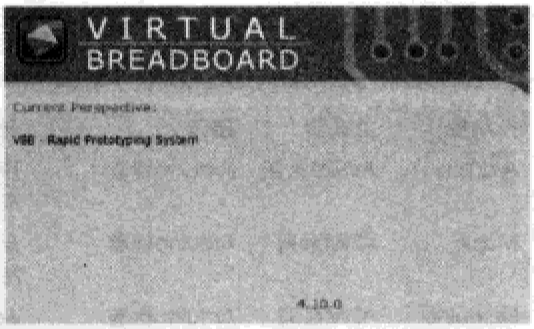
2 由于软件采用了Xenocode沙盒技术封装，因此不能把安装路径设定在“C:\\VBB”，否则会造成运行冲突。



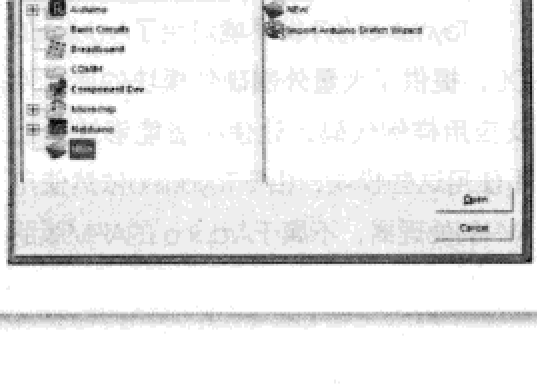
3 在安装过程中，360等软件会误报警告，可以添加到信任列表。笔者使用ESET NOD32和TREND MICRO进行病毒查杀，无任何警报。正常安装之后，桌面便会出现VBB的小图标。

VBB的使用

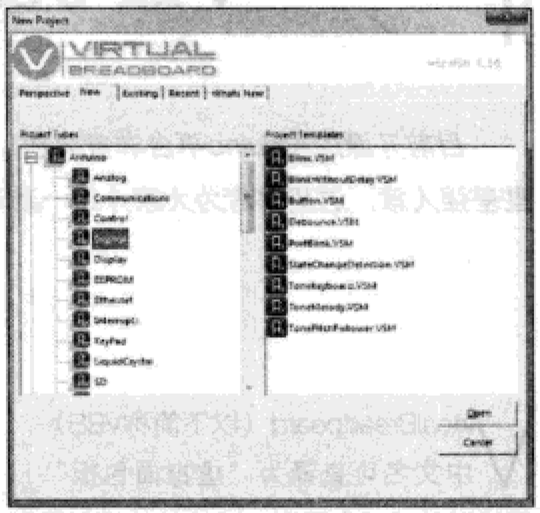
1 双击VBB的图标，首先出现的是软件的启动界面。



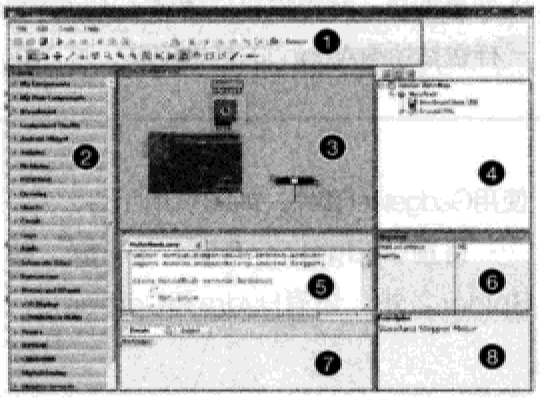
2 片刻之后，出现的是软件主界面和启动向导，你可以新建一个项目。



3 或者选择样例模板，这里包括所有Arduino的样例程序和面包板的零件电路。即使没有Arduino主控板和零件，你也可以通过样例的仿真动画，熟悉整个程序的运行。



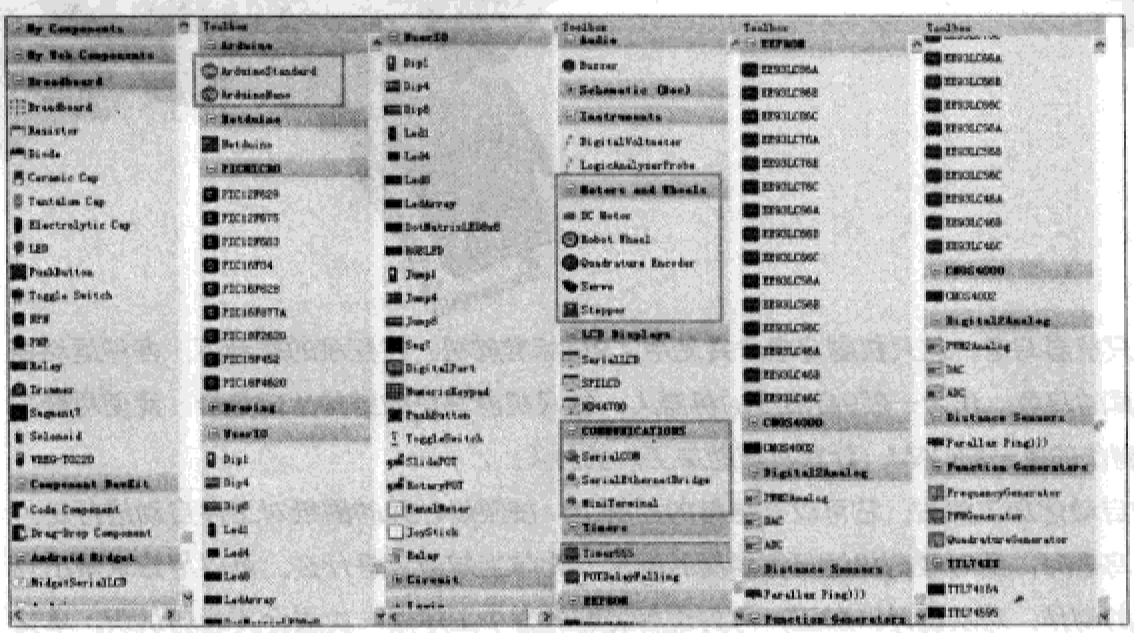
4 这里我们选择了一个步进电机的样例程序，图示为整个软件的界面。



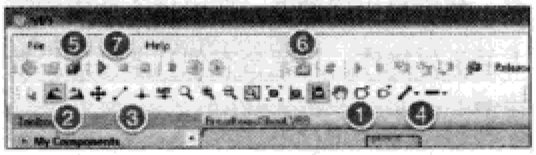
主界面布局说明

序号	名称	描述
❶	主菜单栏和按钮工具栏	包括保存、编译、绘图等快捷按钮
❷	部件工具栏	包括所有的系统、自定义、网络部件
❸	设计视图界面	设计主窗口
❹	组织结构树	显示项目、硬件、软件接口的层级关系
❺	编程区域	显示和编辑Arduino代码区
❻	属性面板	可以查看和更改部件属性，例如LED颜色
❼	报警信息和输出窗口	编译失败的报警信息和程序输出信息
❽	描述窗口	显示当前所选部件的文本信息

5 我们展开第二项部件工具栏，可以看到VBB几乎支持我们日常所需的所有部件，包括开关、LED、LCD、电机、电阻、三极管等常用电子元器件，甚至还包括串口和以太网模拟。即使没有，也可以通过用户自定义部件或者下载其他用户的网络部件，实现所需功能。VBB 4.10版支持Arduino标准版和Arduino Nano，最新VBB 4.15版已经支持Arduino UNO 和Arduino 1.0。

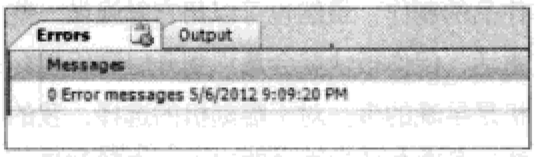


6 下面我们就按照正常的设计顺序对主要的功能按钮进行介绍。首先，如果你需要增加新的部件到设计图中，只需要简单地将部件从部件工具栏拖拽到设计视图界面即可。还可以通过按钮工具栏缩放按钮❶实现部件的增大或缩小，也可以通过旋转按钮❷改变部件的角度。然后通过布线按钮❸绘制部件和 Arduino 板之间的连线，如果需要更改线色和线宽，可在❹进行设置。当然，你也可以通过面包板使整个设计布局显得更加整齐。

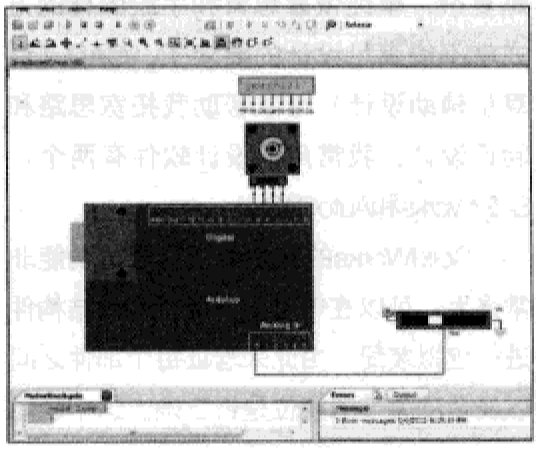


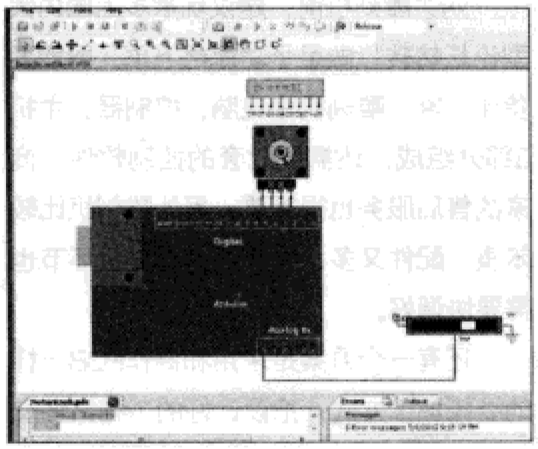
7 你可以在编程区域进行程序的编辑和修改，不过由于软件布局比较紧凑，笔者还是建议使用Arduino自带的编程软件或者诸如Eclipse等第三方软件进行编程和编译，然后复制粘贴到VBB之中。

8 在开始仿真之前，我们还需要进行保存❺，然后编译程序❻，如果一切顺利，在报警窗口应该显示以下信息。



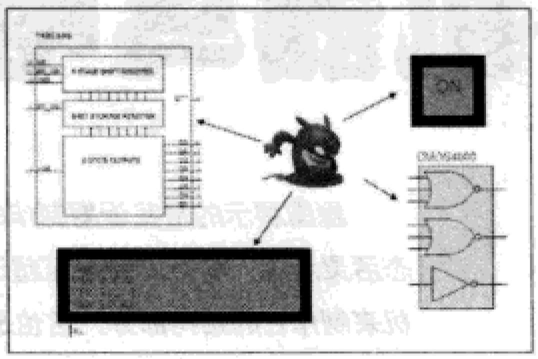
9 最后只需点击那个绿色的小箭头❼运行仿真，就可以看到可以互动的仿真动画。在这个样例中，我们可以通过调节电位器阻值来改变步进电机的角度，效果非常逼真。



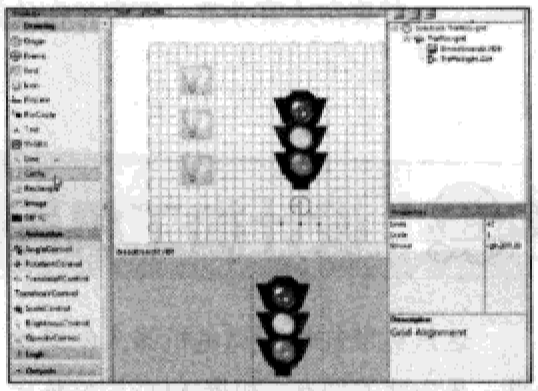


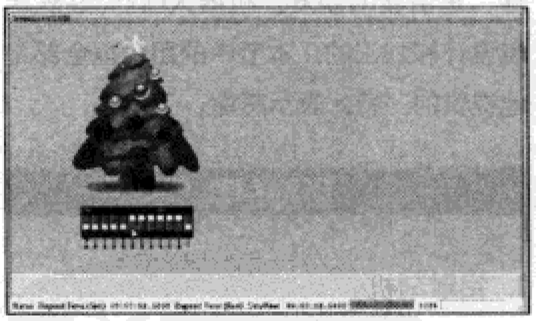
VBB的丰富应用

我们不仅可以使用现有的零件库来实现丰富的应用，还可以通过VBB来设计自己的部件。小到一个开关，大到一个功能芯片，都可以借助MicroMorphs的强大功能，用自己熟悉的语言创造出来。



不仅如此，我们还可以导入图形，制作丰富多彩的模块，如交通灯或圣诞树。

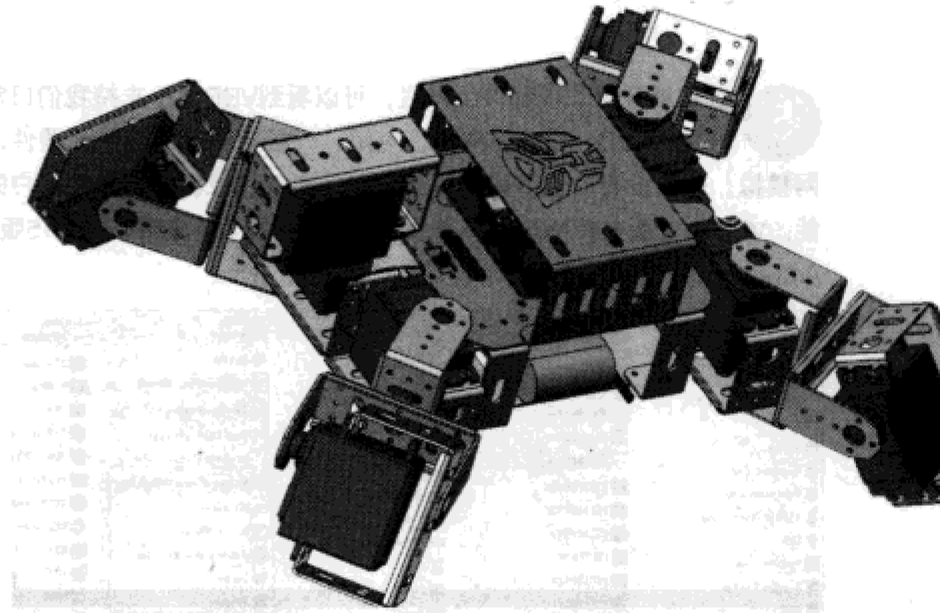




总体来说，VBB是一款非常优秀的仿真软件，它适合用于教育领域，老师们可以用VBB制作生动活泼的课件，学生们也可以用它来进行安全的电子实验。笔者作为Arduino的爱好者，在开始设计制作之前，一般都会先用VBB进行模拟仿真，不仅能提高设备调试的安全系数，还节省了频繁更改、优化程序所导致的大量下载过程中的等待时间。所以笔者在此推荐VBB这款软件，希望大家都能创造出更好的Arduino作品来！

◇臧海波

用雕刻机制作
机器乌龟



题图展示的是我近期制作的一只机器乌龟。这只机器乌龟一共使用了9只标准舵机，在程序的控制下，各种运动姿态活灵活现，爬行能力甚至超过了真的乌龟。作为一部9自由度的机器人，这只机器乌龟的结构比较复杂，我使用雕刻机来制作它的结构部分，这也是我制作的第一部CAM（计算机辅助加工）机器人。

雕刻机是一种功能非常强大的自动化加工机械，它可以在电脑的控制下，按照设计好的图纸对工件自动进行钻、铣组合加工。在开始制作这只机器乌龟时，我对雕刻机还只有模糊的概念，大体上知道它是什么，可以用它来做出什么，这次正好可以借助这部机器人的制作，对从设计、加工，再到最后装配的整个工序做一次融会贯通的认识。本文就来和大家分享一下我的制作经验。

设计加工机器乌龟的结构件

这只标准舵机版乌龟机器人的结构件，是由我的朋友、机器人DIY同好陈瑞琪设计和加工的，本节中的照片也全部是他提供的，特此表示感谢。

所需材料

1. 铝雕刻机

雕刻机有激光雕刻机和机械雕刻机两类，这两类又都有大功率和小功率之分。市场上接近万元价位、可供业余爱好者使用的，以机械雕刻机为主，基本分成两种档次：一种价格在3000元左右，功率比较小，可以雕刻有机玻璃和覆铜板等硬度不太高的材料，勉强可以雕刻小尺寸的金属件，另一种造价在10000元左右，功率较大，可以雕刻铝板。

从业余爱好的角度看，如果已经发烧到准备使用雕刻机进行制作的程度，那么需要掌握的技术和期望达到的结果肯定不限于雕刻电路板、标牌、小车底盘这类比较简单的零件。3000元级别的雕刻机只能作为过渡品使用，很难用于机电一体化作品的制作，虽然也可以用它勉强做一些重活，但你很快就会意识到升级到铝雕刻机是早晚的事。对于雕刻机的选择，我的建议是有条件就直接购买大功率雕刻机，它可以完成小功率雕刻机的所有工作，一步到位，避免重复投资。

购买雕刻机前，建议玩家多上国内大型论坛转转，做足了功课再下单。网购要货比三家，雕刻机由电脑、控制器、主机3部分组成，还需要配套的控制软件，商家的售后服务也很重要。另外雕刻机比较笨重，配件又多，物流和收货这些环节也需要协调好。

还有一个方案是采用和制作PCB一样的委托加工方式，把设计好的工程文件交给厂家进行生产。但是机加工行业与PCB行业不同，面向爱好者且有精密金属加工能力的厂子并不多。此外机器人对结构件的技术要求比较高，生产中涉及的环节越多，越容易出现偏差，所以这个方案实际上并不好操作，只适合有便利条件的少数玩家。

2. 设计及控制软件

随着我制作的机器人在结构上越来越复杂，单纯依靠想象和手绘图样的方式就不能满足设计的要求了。CAD（计算机辅助设计）可以帮助我拓宽思路和验证设计。我常用的设计软件有两个：SolidWorks和AutoCAD。

SolidWorks的优点是三维预览功能非常强大，可以在电脑中把设计好的结构件进行虚拟装配，由此来验证每个部件之间以及活动关节的摆位是否正确。这个功能

非常重要，有时候一个垫片的厚度没有计算进去都会影响到最后组装。

AutoCAD是国际上广为流行的绘图工具，它自带标准件库，绘图功能强大，可以进行多种图形格式的转换，具有较好的数据交换能力。

雕刻机加工的材料以板材为主，CAD设计出来的工程文件也是以二维图形为主，此时需要用到ArtCAM这个软件，把CAD软件设计出的平面数据转化为精致的三维模型，并能快速计算生成精确的刀具路径。

ArtCAM输出路径到NcStudio（维宏控制系统）里面使雕刻机工作。NcStudio是国内自主开发的一套雕刻机运动控制系统，用户群比较广泛，功能也非常完善。雕刻机在购买时会搭配相应的控制软件。

3．板材

铝板是制作机器人结构的主要材料，我在之前的文章中对铝板已经有过介绍。如果觉得5052铝板比较软，可以使用高标号的6061或者7075合金铝板，标号越高，板材的硬度越大，制成零件的刚性越好。

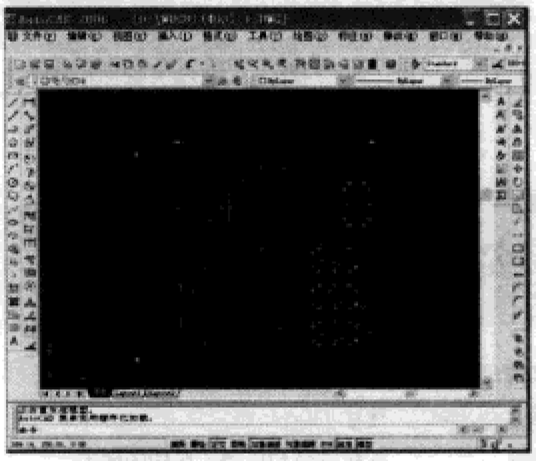
用雕刻机制作机器人，一般选择1mm厚的铝合金板，这种铝板加工方便，折边工序可以使用小台钳来完成，强度足以满足小型机器人的需要。也可以使用2mm厚的铝板，但是由于板材厚度增加，需要配备专用的折弯工具，以保证加工一些小的零件时的折弯精度。

设计

首先用AutoCAD规划出板材的二维图样。我在网上购买铝合金板材为了物流方便，要求商家切成小块的，在规划图样时考虑尽量合理利用每寸空间。

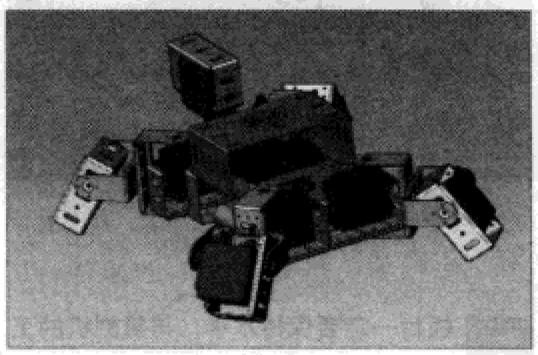
这只机器乌龟使用了9只舵机，有9个自由度，属于比较复杂的机器人。在结构的设计上，需要考虑到的因素非常多，我认为最重要的有两点：一是机器人在各种运动姿态下要保持重心，二是要给活动关节留出可供调整的余量，确保关节在运转时不会受到阻碍。另外还要考虑方便组装的问题，在结构上需要给螺丝和螺母这类紧固件的安装留出一定操作空间。

1 上盖板和底板的图样，空闲的位置加入了4个舵机支架。

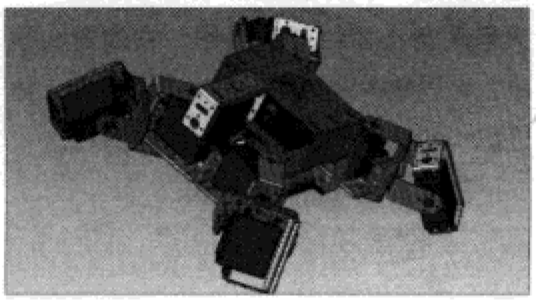


2 舵机支架和龟壳图样。

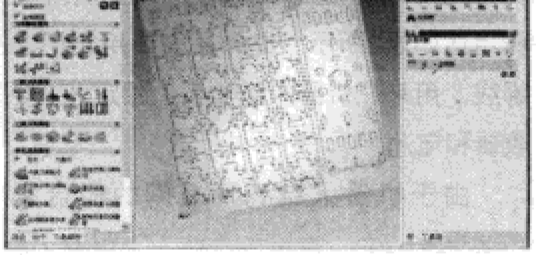
3 把AutoCAD中设计好的这些结构件，在SolidWorks中虚拟装配一下，通过软件的三维预览功能，查看总体效果。可以通过软件模拟乌龟各个关节组件的运动，如果制作更复杂的机器人结构，还会遇到运动学分析和仿真这类问题。



4 SolidWorks的三维预览功能非常方便，可以把电子控制部分的元件也登记入库，在电脑中模拟出总装后的最终效果。从图中可以看到乌龟腹部的电池、龟壳与上盖板之间的舵机控制板等电路部分。这样的好处是可以精确地规划各个元件的位置，确保总体结构的紧凑和精密。



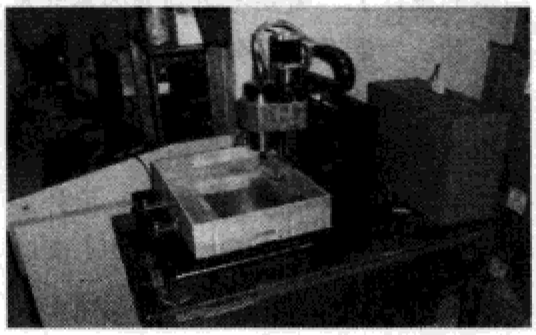
5 CAD图样设计无误以后，就可以把平面数据导入ArtCAM，进行刀具路径的计算了。



6 ArtCAM把路径输出到NcStudio这类雕刻机控制软件，就可以控制雕刻机走刀，开始工作了。

加工

1 我朋友的这台雕刻机是一部小型铝雕刻机，主轴功率800W。工作环境见下图。图右灰色箱体为控制器，中间为雕刻机主机，后面是电脑。由于雕刻机工作时会产生大量金属碎屑等杂物，最好给它的工作面外部加一个集尘框。

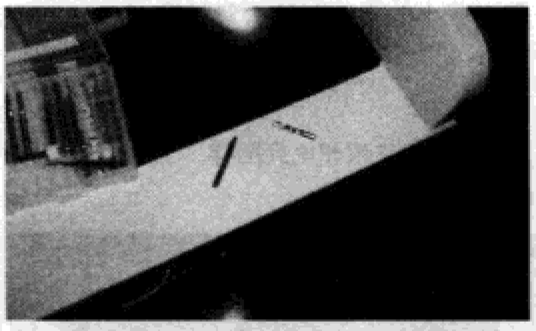


2 在电脑上运行NcStudio软件，导入刀路，准备开工。

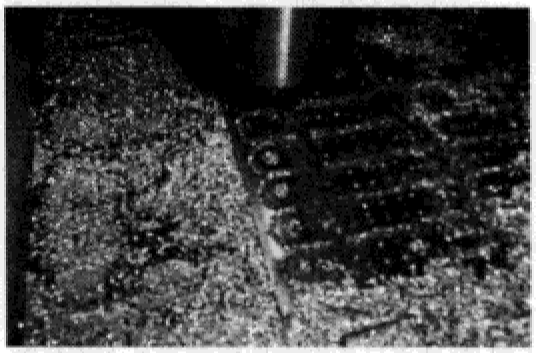
3 板材一定要保持水平，与雕刻机的工作台面固定牢靠，这样可以保证铣刀进刀的深度一致。

4 固定好板材，雕刻机准备走刀。

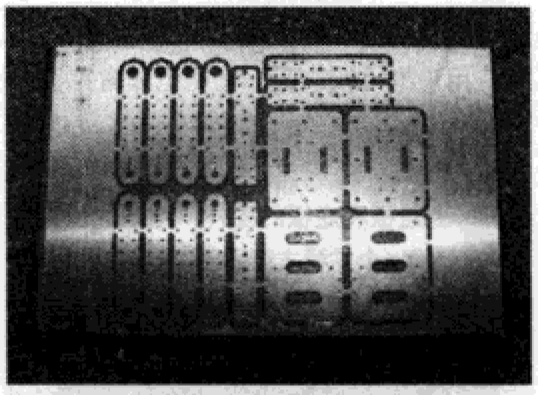
5 出师不利，铣刀折断了。铣刀是消耗品，我的经验是不要图便宜买几元钱的廉价铣刀，一是易断，二是加工出来的材料有毛刺，会给后续装配带来麻烦。



6 板材加工了一半的样子，现场一片狼藉。



7 加工完毕的板材，揭去了表面的蓝色保护膜，露出亮闪闪的铝板。



机器乌龟整体结构的组装

表1 所需材料

名称	数量
乌龟机器人结构件	1套
标准舵机	9只
螺丝、螺母、尼龙扎带	适量
螺丝刀	2只
弯头钳子、刀片	1只

表2 螺丝和螺母的规格和用途

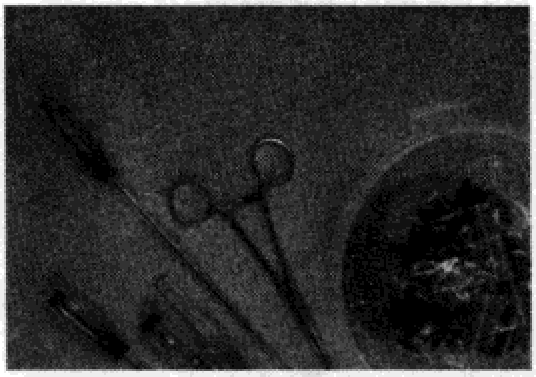
名称	用途
M2螺丝和螺母	舵机支架和机器人结构的固定
M2自攻螺丝	舵盘与C型铝支架间的固定
M2.5螺丝和螺母	舵机与舵机架的固定
M3螺丝和螺母、铜轴承	舵机虚轴与C型支架的配合
M3尼龙螺丝和螺母	舵机控制板与机器人上盖板的固定

机器人结构部分的组装，主要依靠螺丝进行固定，五金件的消耗量会比较大。这只机器乌龟将要使用近100只、5种不同形制的螺丝和螺母，它们的规格和用途如表2所示。此外还需要用到尼龙绑线，用来在机器人结构板上固定PS2接收器和电池。

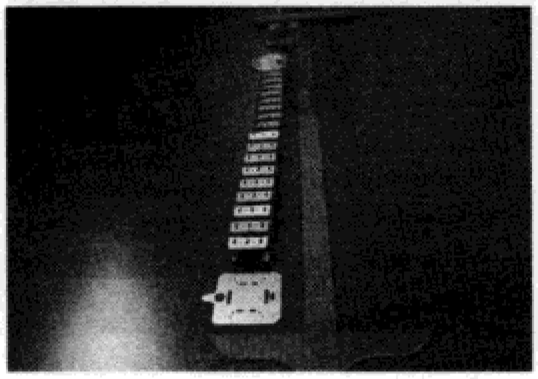
由于机器人结构件之间的配合紧密、空间狭小，如果没有称手的工具帮助，看似简单的给螺丝上螺母的事情在这里将会是一个很麻烦的工作。我使用一只大号医用止血钳辅助工作，它的弯头很小，可以牢牢地夹住螺母这类小零件，伸进结构的缝隙里进行操作，非常方便。

下面开始我的组装过程。

1 我的装配工具和螺丝、螺母等五金件。

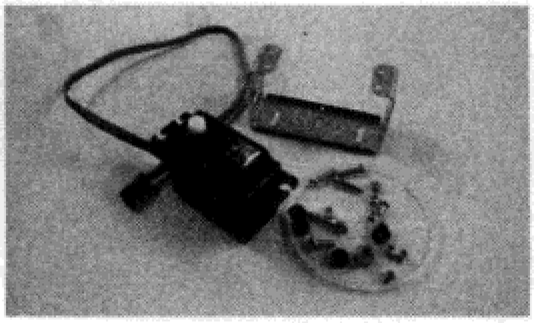


2 雕刻机做好的全部结构件排成一列，居然有一条米尺那么长。想象一下，这么多高精度的小零件，如果用锯条和电钻纯手工加工，将会是一件多么痛苦的事啊。

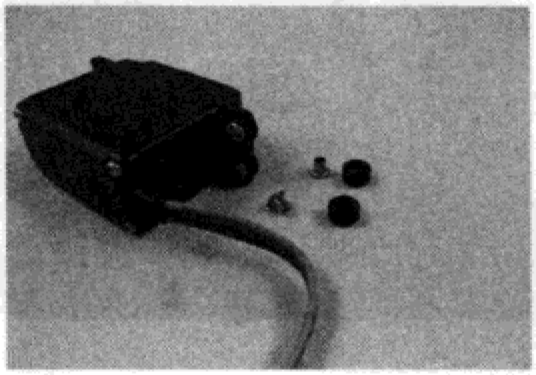


3 用刀片去除零件边沿和内孔的毛刺，造成材料毛刺的原因是使用的铣刀比较差，高品质的铣刀加工出来的结构件非常光滑，可以省略这一步。

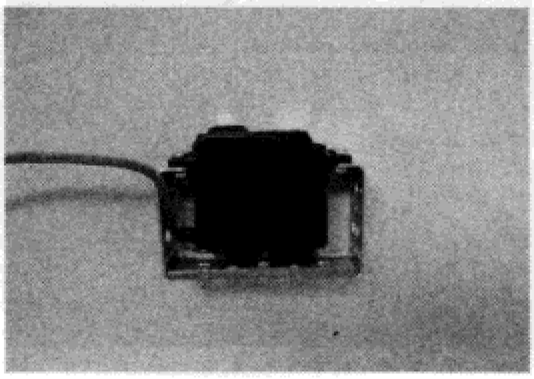
4 下面开始组装舵机和支架。一定要注意先用舵机控制板把所有舵机归零，这样可以防止程序调试过程中，发送给舵机的角度信号超出舵机设计许可的运转范围而烧毁舵机。



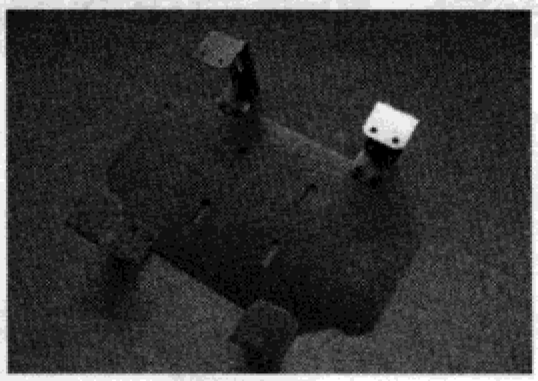
5 舵机自带的胶垫、铜铆钉与舵耳之间的固定。借助胶垫把舵机与支架"悬浮"固定起来，起到减轻震动的效果。



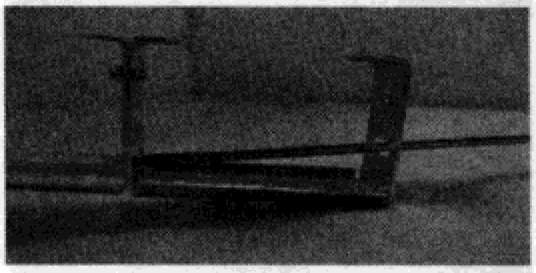
6 用M2.5的螺丝和螺母把4只舵机安装在支架上，作为乌龟的4只脚。这是舵机和支架之间的配合示意图。



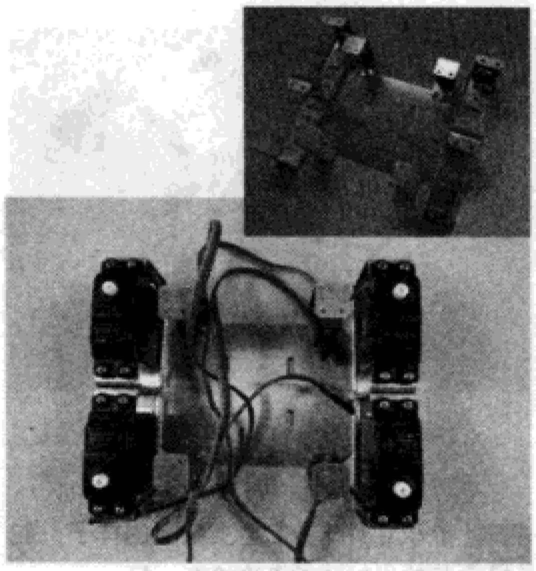
7 在底盘上安装好4个支撑架，后面将用它来固定上层盖板。



8 把左、右前腿和左、右后腿根部的舵机支架分别固定好。我使用的是M2规格的螺丝、螺母，注意看支架上预留长槽的用处，可以伸进螺丝刀，方便上螺丝。长槽还可以穿过舵机的电缆，使机器人的外观更整洁。

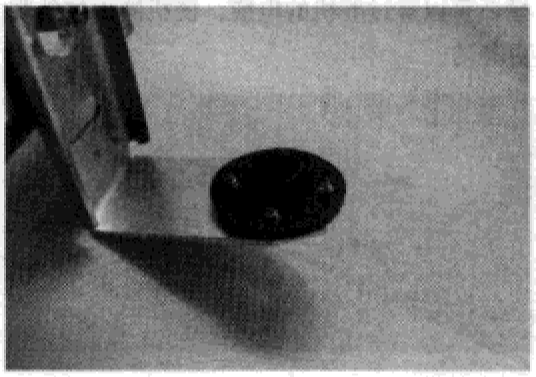


9 把乌龟腿根部的4个舵机支架与底盘固定好，安装上4只舵机。

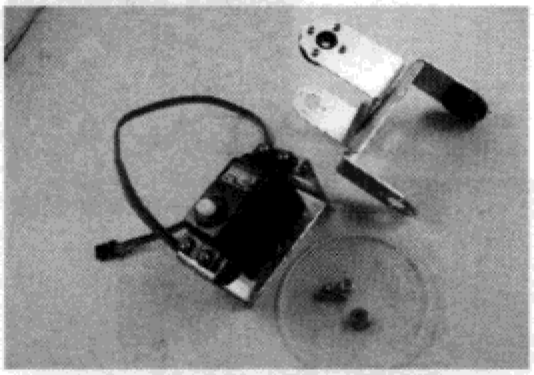


10 把8只C型支架两两固定在一起，用来连接乌龟腿根部舵机与脚部舵机。注意在这4组C型支架上将要固定8只舵盘，这些舵盘有左右对称的相对位置，装配完毕的机器乌龟照片中有详细展示。

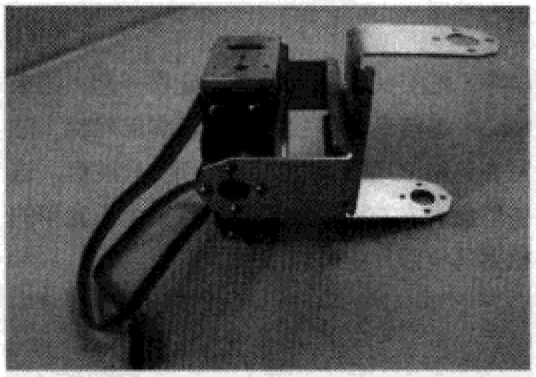
11 在C型支架上固定舵盘，我使用的是M2的自攻螺丝，直接拧上去很方便。注意使用的M2自攻螺丝不要过长，以免阻碍舵机运转。



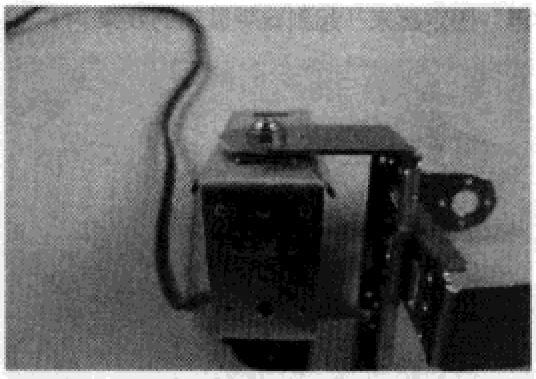
12 安装机器人脚部舵机组件与C型支架组件所需的螺丝、螺母。



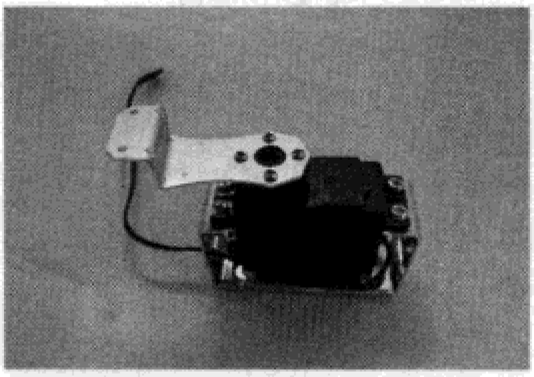
13 舵机组件卡在C型支架上的样子，舵机输出轴和舵盘连接在一起。



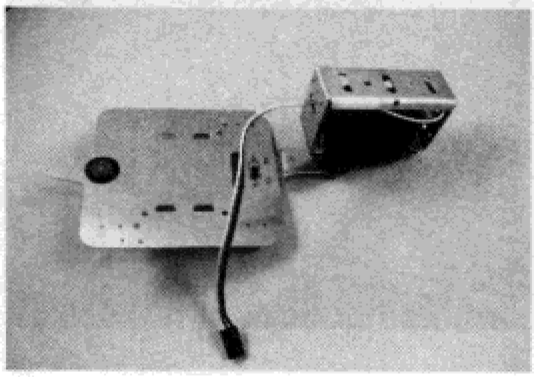
14 舵机虚轴侧的安装示意。



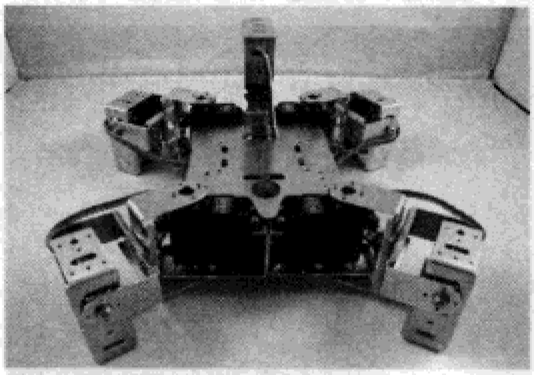
15 在舵机组件的虚轴一侧，固定好铜轴承、M3螺丝和螺母。轴承与C型支架的安装孔相结合。



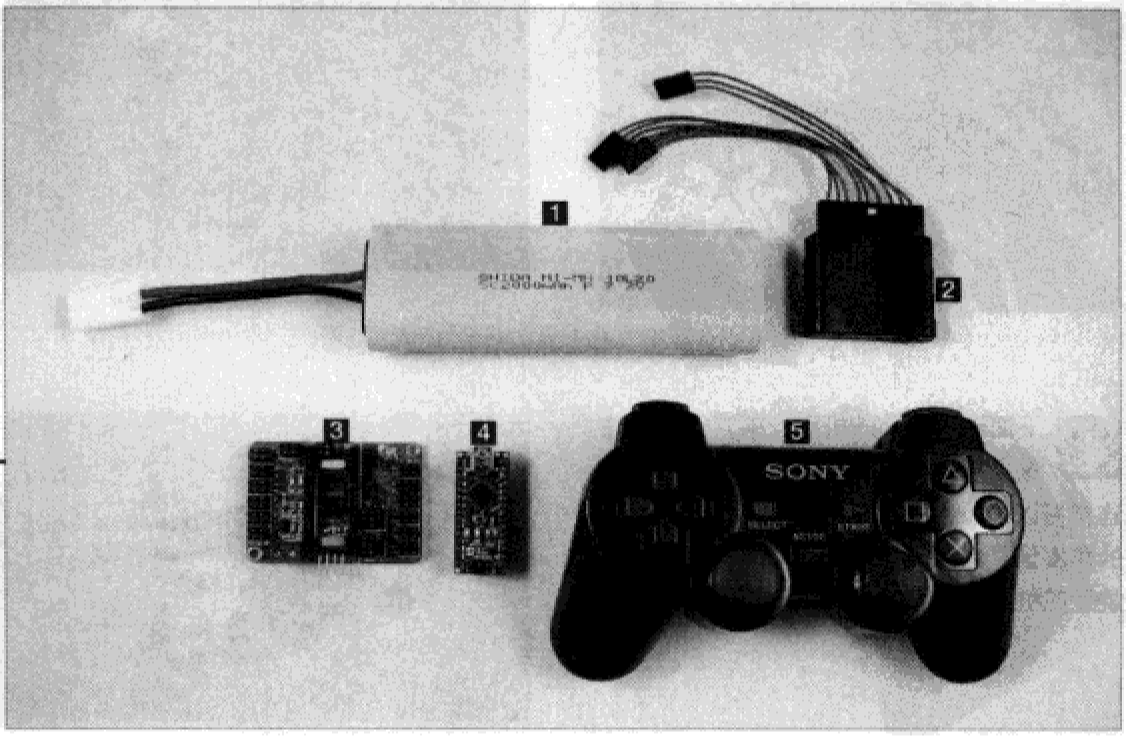
16 这是乌龟头部舵机的固定方式，舵盘上的结构件为它的“脖子”。把头部组件与乌龟的上盖板固定好。



17 这是上盖板和身体装配好的样子，从中可以看出8只脚部舵机的相对关系。



机器乌龟的电路部分和总装



1 PS2接收器
2 电池
3 舵机控制板
4 Ardiuno NANO
5 PS2手柄

所需材料

1. 电池

多自由度机器人需要用到多只舵机，标准舵机在启动和运行时的电流会比较大，尤其是机器人在做复杂动作时，几只舵机同时运转，且负荷较重，会消耗很大的电流，这就需要给机器人配备上可以提供大电流放电的动力电池，常见的小型锂电池或者镍氢电池不能满足机器人的需要。

动力电池的标示通常为3组数字和字母组合。其中S是指多少个电芯串联，P是指多少个电芯并联，比如2S2P就是2个电芯串联，再并联，共4个电芯。锂聚合物电池每个电芯的电压是3.7V，由此可以得出这个电池组的电压是7.4V。C是指电池能够以多少倍容量的电流放电，C×电池标称容量就是电池允许的最大放电电流，比如一块1500mAh 20C的电池，就是指它可以能够以30A电流放电。

多自由度机器人的工作电流，可以按每只舵机0.8A来估算。这只乌龟使用了9只舵机，即需要电池能提供大约7A电流的放电能力。标准舵机的电压通常为6V，最高7.2V。动力锂电池的电压一般为7.4V、11.1V，不适合直接给机器人舵机供电。我建议使用镍氢电池组，镍氢电池单个电芯的电压为1.2V，5S（6V）或者6S（7.2V）的镍氢动力电池都可以满足机器人的需要。

2. PS2手柄和接收器

虽然现在有蓝牙、Wi-Fi这些遥控方式，甚至用手机也可以遥控，但是作为一个电玩迷，我更喜欢PS2手柄的操控感觉。

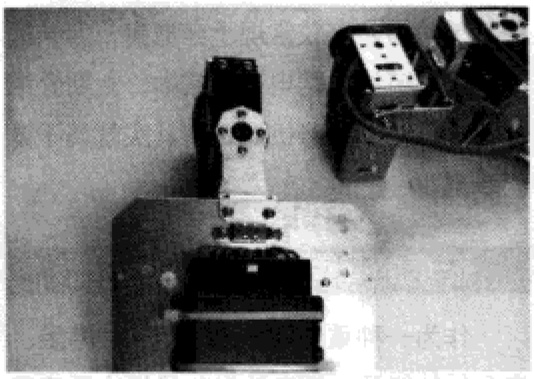
3. Ardiuno NANO和舵机控制板

舵机控制板好比是机器人的神经中枢，非常重要。它的作用是在程序的控制下给每个舵机发送角度信号，控制机器人各个关节的协同运转。

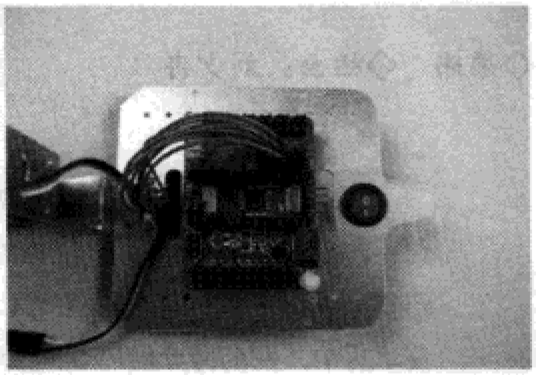
这部机器人使用的是QSC24型24路舵机控制板。它是由我朋友（q-robot.taobao.com）负责开发的，特别值得一提的是它上面集成了Ardiuno NANO插槽和PS2接收器。Arduino的开发环境使得机器人控制程序的编写和调试过程非常轻松，整合的PS2输入又可以享受到游戏手柄良好的操作手感。

总装

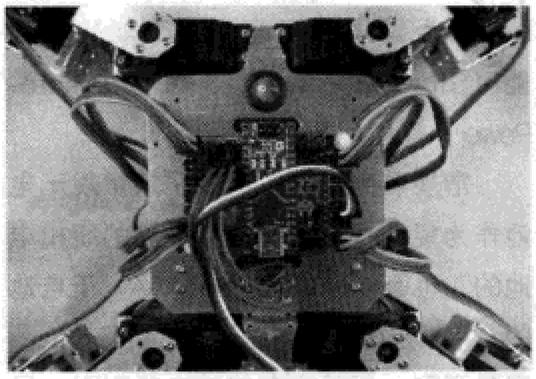
1 在上盖板的底部，用尼龙绑线固定好PS2接收器。



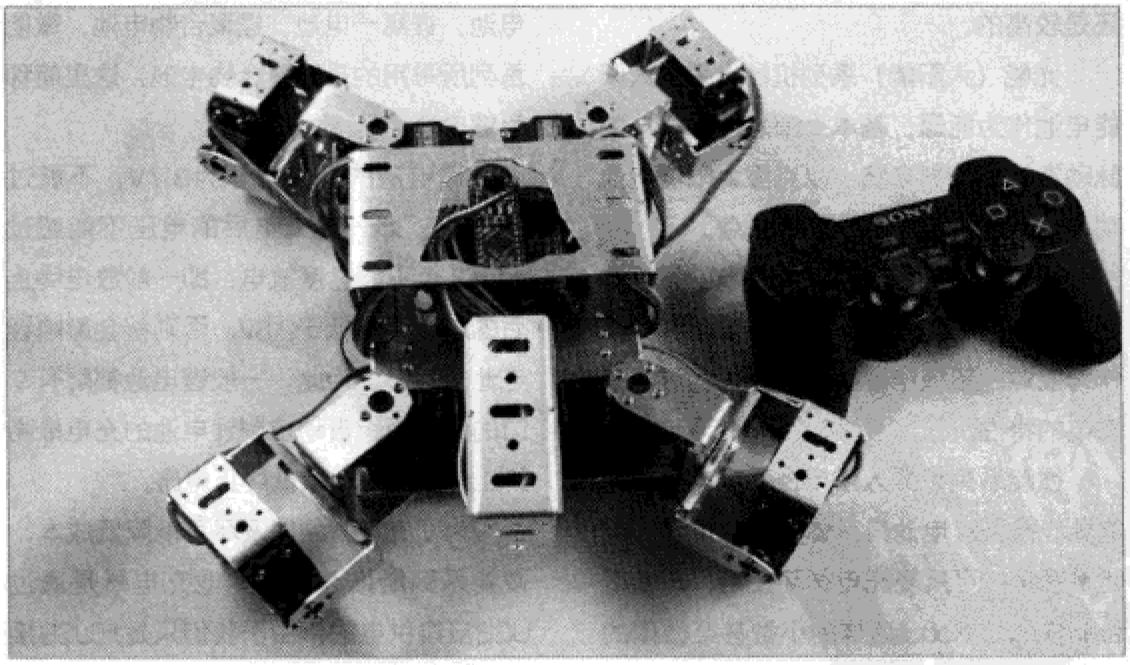
2 在上盖顶部固定好24路舵机控制板。因为机器人的电路部分设计得非常紧凑，建议使用尼龙螺丝和螺母固定机器人的控制板，避免使用金属螺丝可能造成的短路问题。



3 把Ardiuno NANO插在舵机板上，再依次连接好各个关节的舵机线。



4 最后完成的机器乌龟。

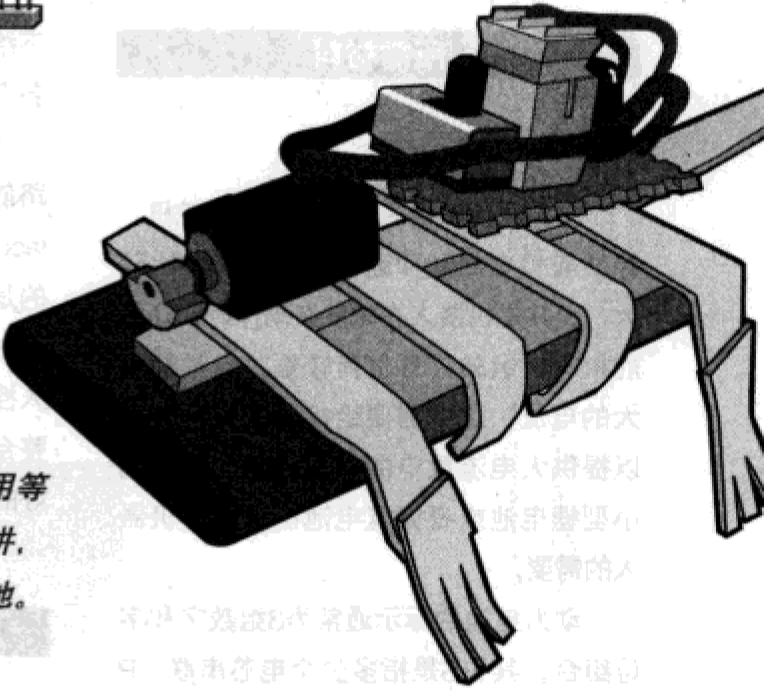


机器乌龟的测试视频：http://v.youku.com/v_show/id_XMzExOTg2MzQ0.html

PVC-Robot 0号M版

“暴走的臭虫”微能版

◇梁玮 ◇插画：刘少冉



微型锂电池具有体积小、重量轻、能量密集、可反复充电循环使用等优点，非常适合制作PVC-Robot这样的小型甚至微型的机器人。理论上讲，PVC-Robot系列所有常规机器人，都可以把常规干电池替换为微型锂电池。在本篇中，我们将介绍PVC-Robot 0号“暴走的臭虫”的微能版本。

PVC-Robot按所使用的能源，可分为常规、光能（太阳能）、蓄能（Storage-Power）、微能（Micro-Power）等几大类。

常规系列机器人主要采用常规干电池作为能源，具体有使用微型的纽扣电池的，也有使用普通7号（AAA）干电池的。常规干电池的用途很广，价格较低，容易买到，但是它存储的电能有限，导致机器人的持续工作时间受到限制。另外，常规干电池属于一次性的，经常使用，则需要不断购买，时间长了，成本还是较高的。

光能（太阳能）系列机器人采用太阳能电池作为能源，基本上都是采用经典的脉动充放电控制电路，以克服太阳能电池功率小、效率低、不稳定等缺点。

蓄能系列机器人使用可充电的超级电容（也叫“法拉电容”或“黄金电容”）作为能源。超级电容具有容量大、可快速充电的特性。

微能系列机器人使用微型锂电池作为能源。微型锂电池具有体积小、重量轻、能量密集、可反复充电循环使用，非常适合制作PVC-Robot这样的小型甚至微型的机器人。它的电量较足，可提供大电流和高电压，确保机器人运行时有足够的动力。而且锂电池可反复充电、重复使用，虽然单价看起来较常规干电池高，但长远来说可以节约采购电池的成本。上期介绍的PVC-Robot 20号机器螃蟹其实就属于微能系列。

配套的微型锂电池、充电器

作为一种重量轻、效率高、功率足、寿命长的能源，锂电池目前已经广泛应用于各个领域。尤其是在数码类产品中，它以出色的表现逐步成为电池能源的主流。锂电池可以具体分为锂金属电池、锂合金电池、锂离子电池、锂聚合物电池，微能系列所采用的是锂聚合物电池，这里简称为锂电池。

锂电池的标准电压为3.7V，不能过度充电，即一般充电后的电压不能超过4.2V，也不能过度放电，即一般放电终止后的电压不能低于2.8V，否则都会影响锂电池的寿命。为此，一般锂电池都配有专门的保护板，自动控制锂电池的充电最高终止电压和放电最低终止电压。

为了充电方便以及尽可能降低成本，微能系列所推荐的锂电池充电器是通过USB接口供电的。由于我们只是把USB接口作为电源，不传输数据，所以只需连接其中的电源引脚即可，如图1所示。

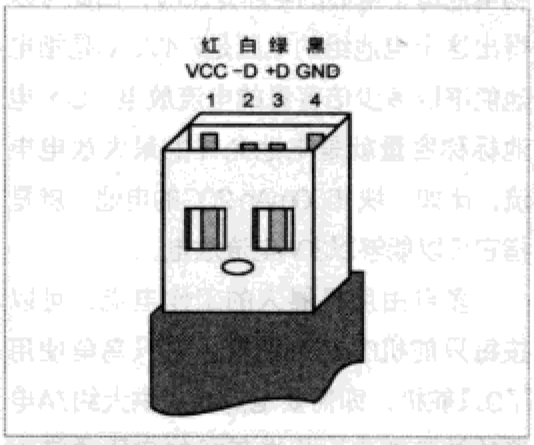


图1 USB接口定义

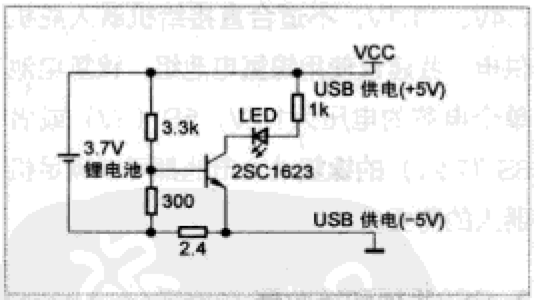


图2 充电控制电路

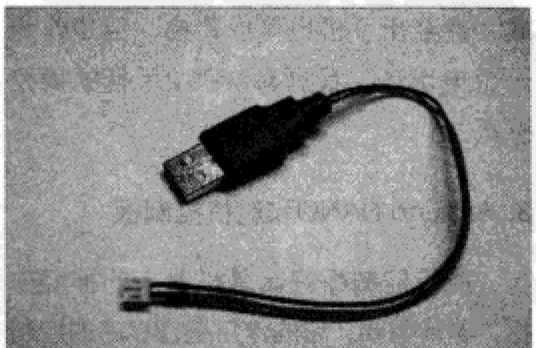


图3 使用贴片元件制作的充电USB线

微能系列锂电池配套的充电器具有充电指示功能，采用如图2所示的电路来实现。没有接上锂电池时，指示灯是熄灭的。接上锂电池后开始充电，指示灯亮起来。等锂电池充满电后，指示灯再次熄灭。请注意，该电路只能显示充电状态，无法控制是否给锂电池充电，锂电池充满电后自动断开电源连接，其实是依靠锂电池自带的保护板进行控制的。假如锂电池本身不带保护板，千万不要使用这个电路，否则可能会过充电导致锂电池损坏，甚至可能有发热爆炸的危险。

为了减小体积，可以将小型贴片元件和LED直接封装在USB插头里做成充电USB线，如图3所示。

基本原理

“暴走的臭虫”的所有版本运动原理都是一样的，都是利用带偏心锤的振动电机产生的振动波促使身体产生位移。振动的幅度越大、身体支撑得越不稳定，运动的效果就越明显。

振动电机的原理是通过旋转的电极带动一个位于偏心轮上的摆锤，由于摆锤的重心位于旋转轴上的一边，在电机转动的过程中，就会由于摆锤的重量不断循环地在转轴的周围产生一个离心的外力，导致电机的振动，如图4所示。手机振机也是靠这样的振动电机实现的。

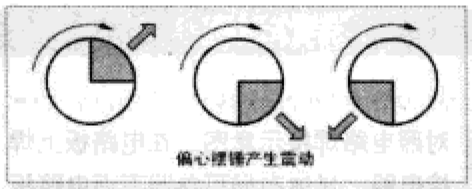


图4 偏心摆锤产生振动

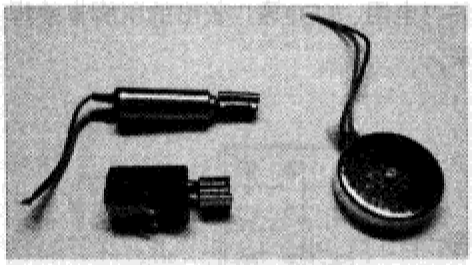


图5 不同样式的振动电机

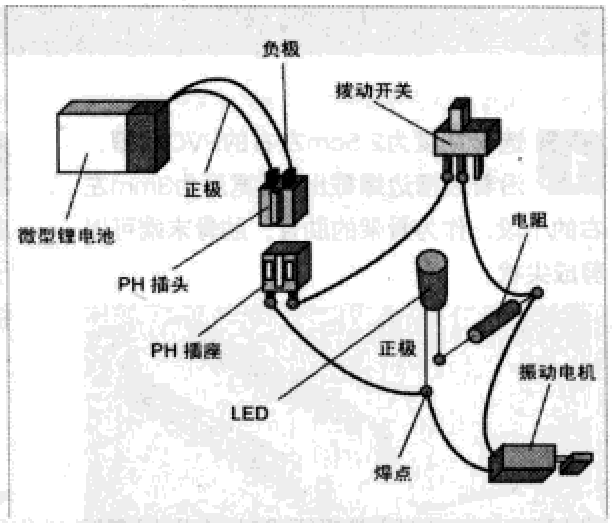


图7 PVC-Robot 0号M版电路焊接示意图

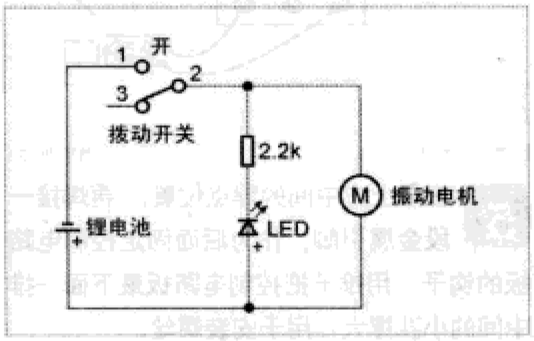


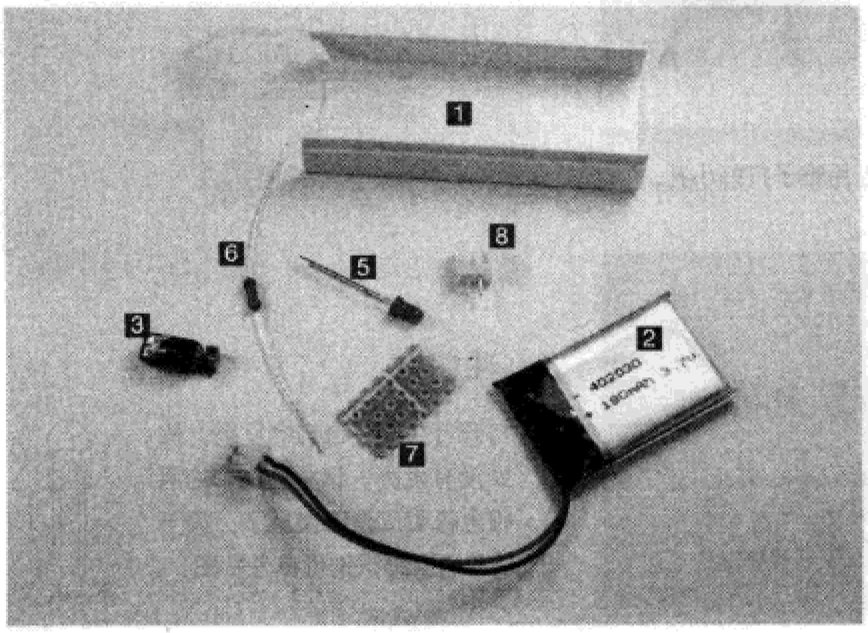
图6 PVC-Robot 0号M版电路图

图5左边的两个振动电机是在普通电机上接了偏心摆锤，而右边扁平的振动电机则是把电机和摆锤融为一体，效果其实相当于左边的电机竖着放，只不过结构更紧凑了。扁平的振动电机的振动效果（幅度）不如普通的，但是电流消耗小，有着更强的续航能力。

“暴走的臭虫”M版采用电池直接驱动电机的简单电路，如图6所示。

准备工作

本项目所需的主要器材包括PVC线槽、振动电机、微型锂电池、LED、电阻等，如附表所示。

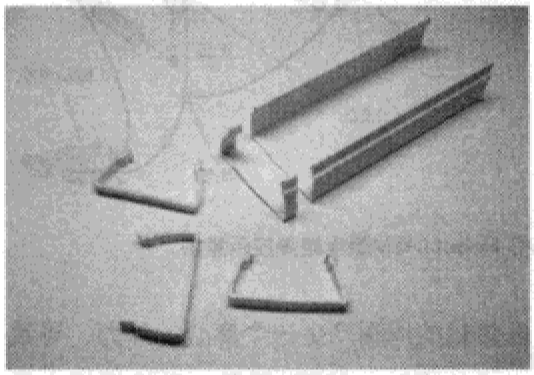


附表 制作所需的材料

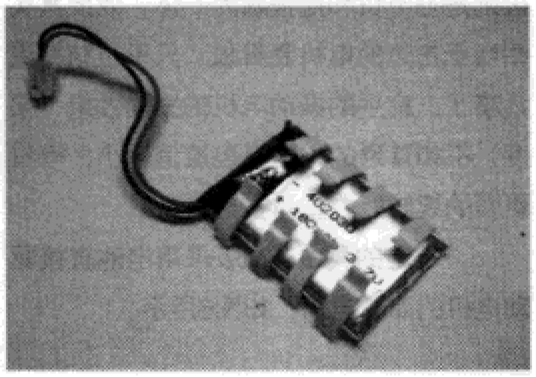
名称	规格	数量	用途
1 PVC线槽	宽度为2.5cm	若干	主体材料
2 微型锂电池	3.7V，180mAh	1个	电源
3 振动电机	手机用的振动电极	1个	动力
4 拨动开关		1个	电源开关
5 LED		1个	尾灯
6 电阻	2.2kΩ（色环：红红黑棕棕）	1个	LED限流
7 电路板	电路实验板/万用板/洞洞板	1块	
8 插座	PH2.0，2P，间距2mm	1个	接锂电池
9 导线	黑	1根	电路连接
10 M1.2×5螺丝/M1.2螺母	直径1.2mm，长5mm	1对	固定电路板

制作过程

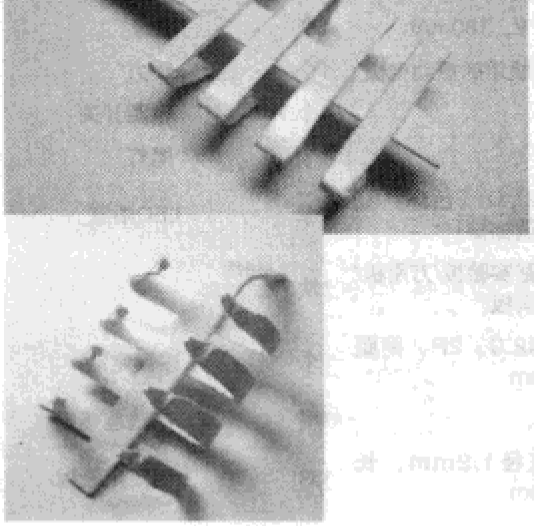
1 选择宽度为2.5cm左右的PVC线槽，沿着线槽边缘截出4段宽度为3mm左右的小段，作为骨架的肋骨。肋骨末端可以剪成尖状。



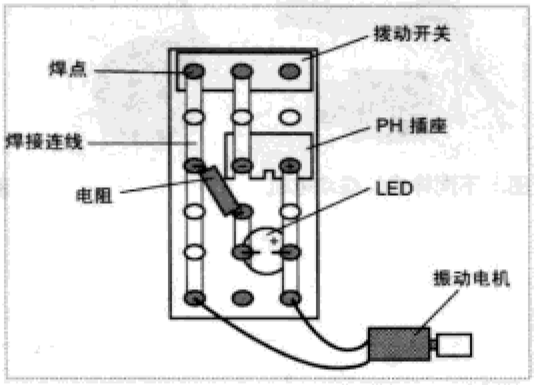
2 肋骨的宽度正好容得下微型锂电池。



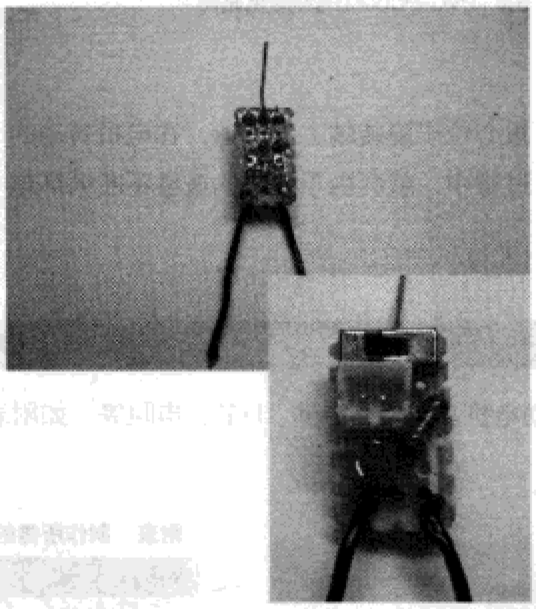
3 再剪一块长5cm、宽0.5cm左右的PVC长方条，作为脊骨，并把脊骨与肋骨用502胶水粘起来。



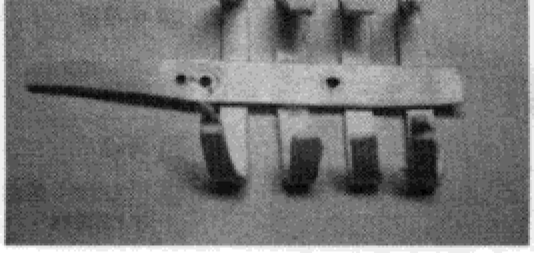
4 对照电路焊接示意图，在电路板上焊接电路，具体布局可参照下面电路板底面图示。浅蓝色带为焊接连线，可以用电子元件（电阻、LED等）长出的引脚直接焊接起来。



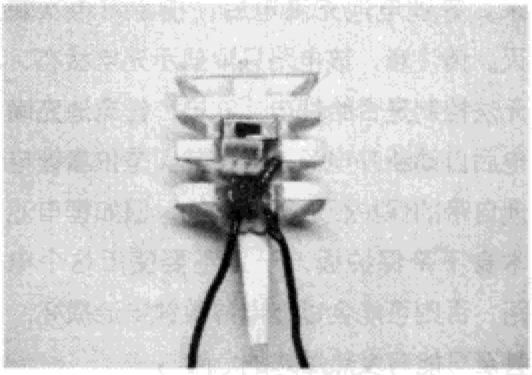
5 在最上方中间的焊点位置，再焊接一段金属引脚，作为后面固定控制电路板的钩子。用锥子把控制电路板最下面一排中间的小孔撑大，用于安装螺丝。



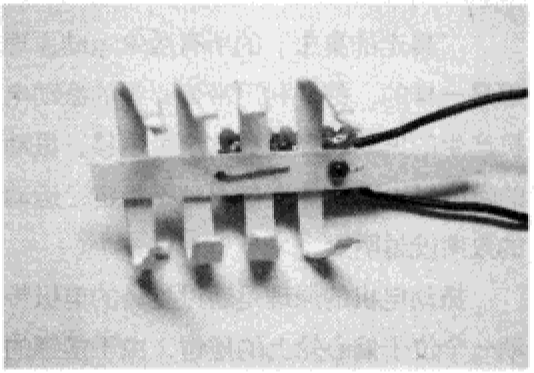
6 在骨架的脊骨上用锥子打好小孔。



7 把控制电路板用M1.2×5螺丝和M1.2螺母固定在脊骨上。



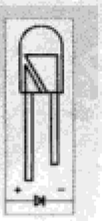
8 之前电路板最上方中间多焊接出来的引脚，用于穿过脊骨，把电路板勾住。



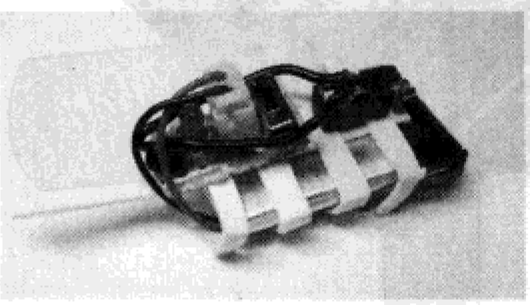
9 在振动电机的外壳上涂上少量502胶水，固定在骨架前端，并把连接电机的导线焊接好。

注意

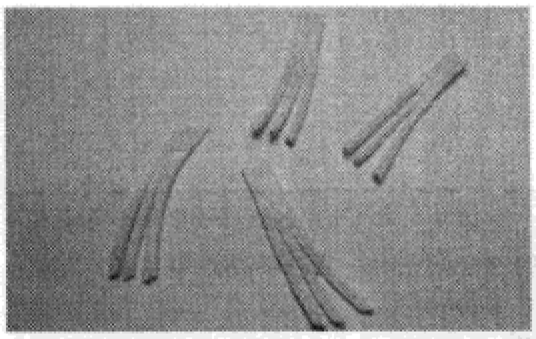
打开开关时，LED会发亮，假如没有发亮，请检查LED的两根电极引脚是否接反了。关于LED的引脚识别可参考右图。



10 把微型锂电池套到骨架上，并把锂电池的PH插头插到控制电路板上的PH插座上，打开拨动开关，正常情况下电机会振动起来。如果电机不动，请检查电路是否连接正确。



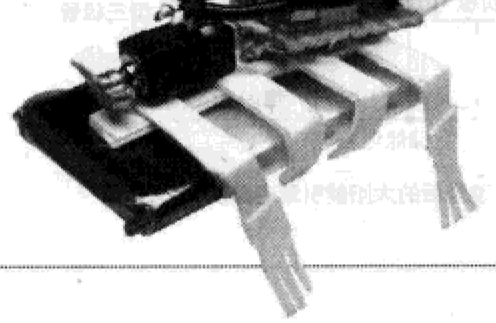
11 将PVC方块剪开呈须状，要剪得尽可能细，最后裁成4个爪状的触手。如果条件允许，这里请尽量采用比较软和薄的PVC线槽。



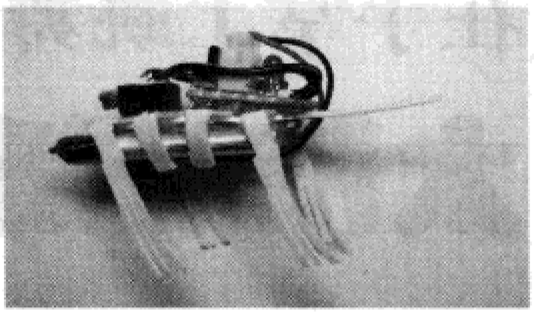
效果展示

这个“暴走的臭虫”M版的造型有点怪异，不像虫子，倒像一只小怪兽了。它依靠振动电机发出的振动波进行移动，着地的4个爪子越细，振动的效果越明显，跑得也越快。由于受到振动电机转动的影响，它跑起来容易转圈，时不时还会有漂移的特效出来，还是挺有意思的。

假如希望不转圈或者改变转圈的直径，可以适当调整几个爪子横向弯折的角度，就可以改变跑动的方向。大家可以在实际制作过程中边调试边寻找规律。



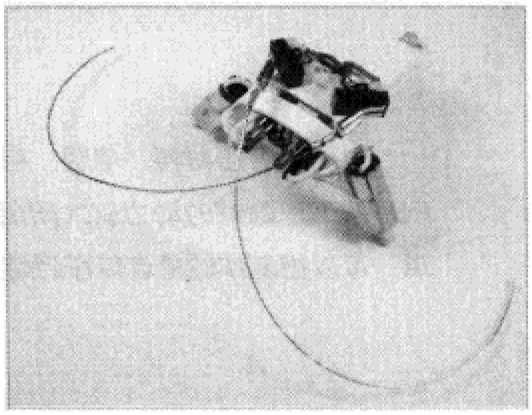
12 用502胶水把4个触手粘贴在骨架前后四角的肋骨位置上，最好有一个安装角度——可以向后倾斜一点。锂电池的电源导线可以从腹部肋骨边上走线。尾巴可以往下折一点，这样锂电池套在肋骨中，可以被尾巴顶住，不至于从后面脱出。



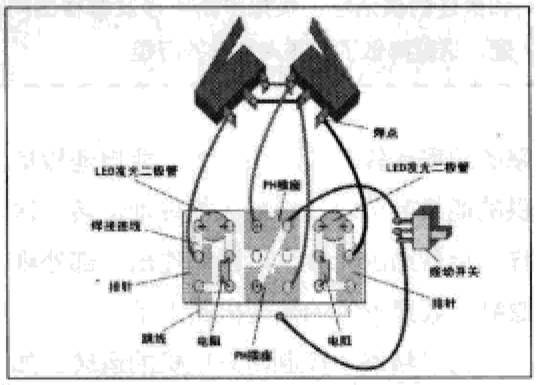
PVC-Robot 7号M版

“疯狂的小强”微能版

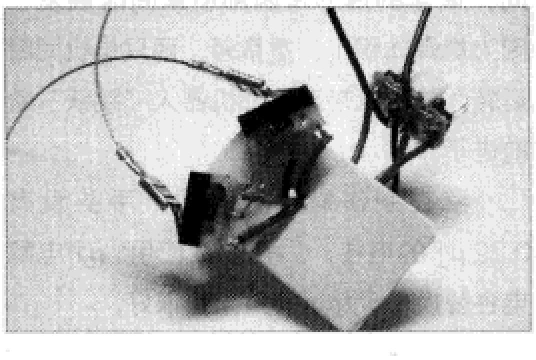
本刊2011年2月号上介绍了被称为“疯狂的小强”的避障小车，这里顺便提一下如何把它改造为采用微型锂电池作为电源的微能版。“疯狂的小强”微能版的电路与标准版基本一样，不过为了增加娱乐效果，可以加上LED，如图8所示。在没有灯光或者灯光比较暗的情况下，小车在碰撞障碍物时，会发出闪光。



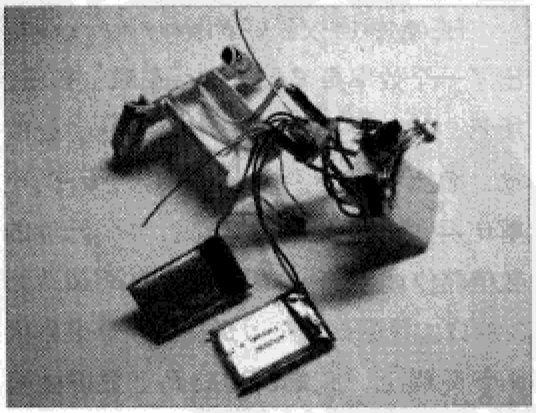
1 微能版的底盘与基础版完全一样，这里不再重复介绍。具体焊接方法可以参照下图（电路板的底面）。



2 在车体顶盖中间打一个孔，用于引出导线，把碰撞开关、触须都安装好。碰撞开关靠内侧的引脚，用电子元件（如LED或电阻）多出的引脚焊接在一起。

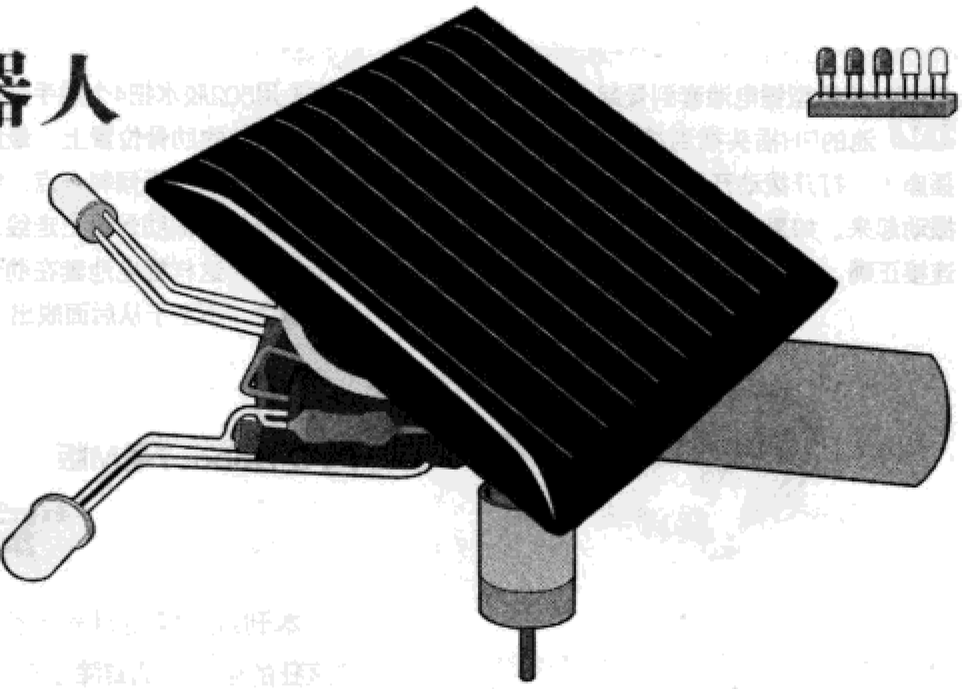


3 把两个锂电池的PH插头插到电路板上，把小车的两组电机的杜邦线也插到电路板上，再把拨动开关的导线也焊接好。调试好电路之后，把电路装入车体。先把电路板有杜邦线和LED发光二极管的一侧对着车体前部，装入车体中（注意把电机的杜邦线梳理好），然后把两块锂电池叠在一起放在车体后部，拨动开关用少量502胶水粘贴在车体顶盖的后部内侧，最后盖上车体顶盖。让LED从车体前部突出来，作为眼睛或车灯，但也不要太过突出，以免前进撞击障碍物时会顶到它。



在手掌上跳舞的机器人

太阳能蟋蟀



◇臧海波

试试用普通材料、电阻、电容与三极管制作一只活灵活现的蟋蟀机器人吧！蟋蟀是BEAM机器人的一种，国外称为POPPER。蟋蟀的动力以太阳能为主，在阳光下，蟋蟀获得源源不断的能量，间隔跳跃前进。因为蟋蟀的电路非常简单，可以把制作的重点转移到结构的搭建上，使得完成后的机器人颇具艺术感。

在BEAM机器人家族中，太阳能引擎是一个比较经典的入门级电路，如图1所示。它非常简单，只需要用到7个电子元件，而且容易制作成功。把这个引擎安装到不同的结构上，可以做成陀螺、小车、比目鱼等各式各样的太阳能机器人。

这个经典引擎的缺点是能量利用率比较低，一块小型太阳能电池往往不能提供足够的电流来驱动两只电机运转。为了获得足够的动力，不得不增加太阳能电池的数量和储能电容的容量，这就造成了微型化和机动化不可兼顾的矛盾。

BEAM机器人爱好者Ben Hitchcock提出了一个效率更高的改进版引擎，如图2所示。对比经典版引擎，电路里有3处改动：增加了2个元件——一只0.22μF的电解电容、一只33kΩ的电阻，1个元件的数值略作调整——2.2kΩ电阻的阻值改为3.3kΩ。我曾试着把改进后的引擎装到太阳能陀螺上，陀螺的运转马上显得生机勃勃。

在蟋蟀机器人中，将使用一对改进版引擎驱动两只电机运转。因为改进版引擎的效率比较高，一小片太阳能电池板提供的能量就可以让机器人很好地运转。这样，用普通的元件也可以制作出一部外观漂亮、效果不俗的微型机器人了。

为了精确地控制两只电机的运转，加入了一只“调零”元件。使用一只20kΩ左右的电位器，作为一个分压器，串联在两部引擎的单闪LED的负极与地之间，电位器的作用是调节引擎触发导通的时间。最佳的情形是两部引擎同时触发，因为蟋蟀体积小、重量轻，两只电机同时运转，就可以带动整部机器人“跳跃”着前进了。

我在制作蟋蟀的时候，手头没有0.22μF的电容，后来尝试使用1μF电解电容替换，实际运行效果也很好。

BEAM机器人最适合入门

BEAM机器人通过简单的模拟电路来模拟生物的神经反射行为，机器人不需要借助复杂的程序控制也可以实现高可靠性、高效率和极佳的灵活性。模拟电路不涉及编程的问题，这就降低了机器人制作的门槛。

本文介绍的太阳能蟋蟀就是一个超经典的BEAM机器人，它可以帮助读者从3个方面来解读机器人：

1 如何使机器人与大自然保持接触。
2 如何用简单电路模拟小动物的活动。
3 如何使用太阳能作为机器人的动力。

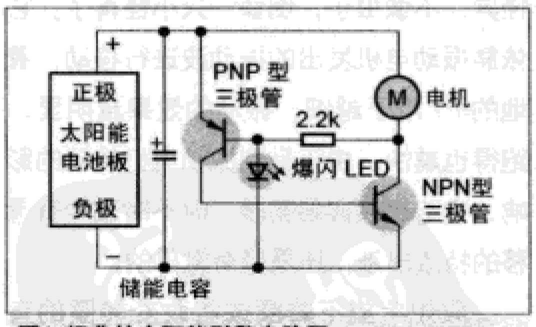


图1 经典的太阳能引擎电路图

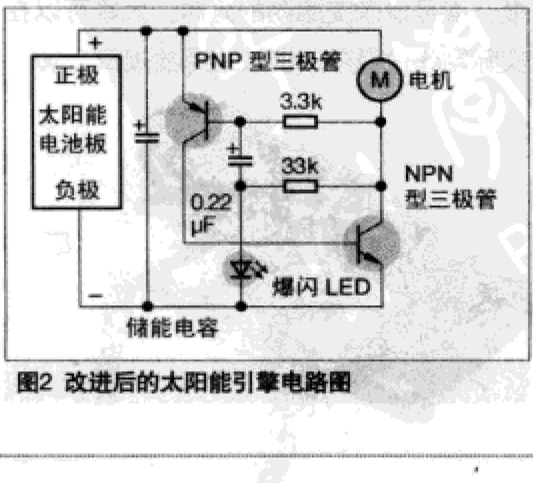
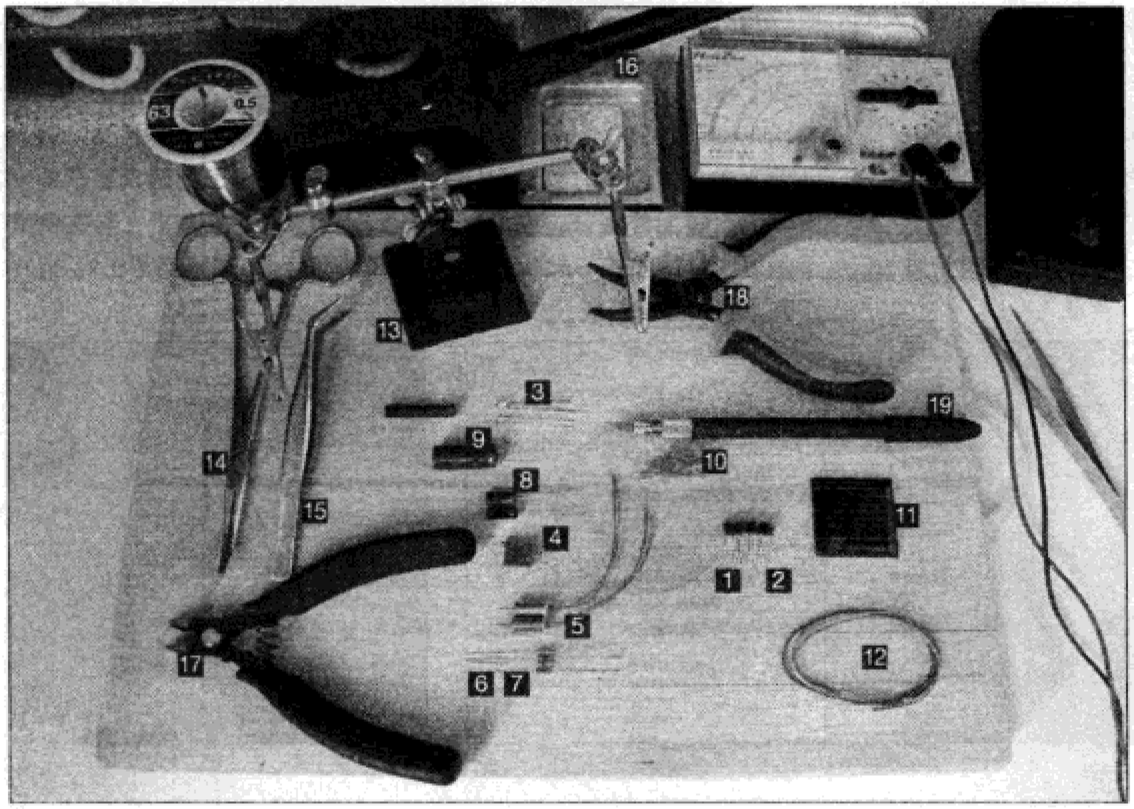


图2 改进后的太阳能引擎电路图

材料和工具



材料

名称	数量
1 NPN型小功率三极管	2只
2 PNP型小功率三极管	2只
3 单闪LED	2只，配黑色热缩管
4 10kΩ多圈电位器	1只
5 微型电机	2只
6 3.3kΩ，1/4W电阻	2只
7 33kΩ，1/4W电阻	2只
8 1μF，50V电解电容	2只
9 3300μF，10V电解电容	1只
10 废电源插座里的铜片	1枚
11 太阳能电池（不低于4V）	1片
12 双色单芯导线	1段

工具

13 焊台，配0.5mm焊锡　14 止血钳　15 弯头镊子
16 放大镜架子　17 电子剪或偏口钳
18 弯头尖嘴钳　19 雕刻刀

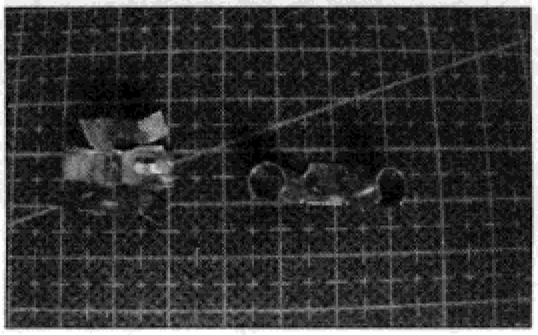
结构部分的制作过程

简单说，这是“一块”会动的电路，由电路部分和机械部分组成。太阳能电池、储能电容和太阳能引擎将光能转化为脉冲，给电机提供能量，两只微型电机驱动机器人运动。

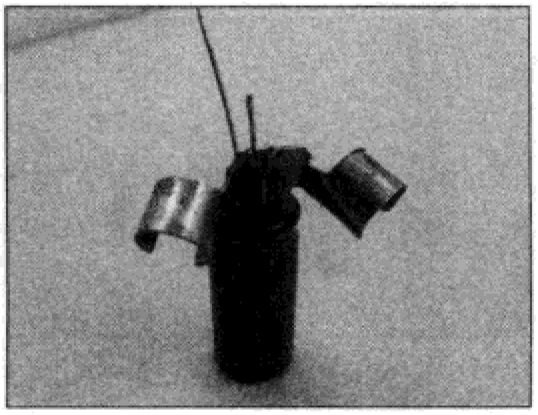
虽然太阳能蟋蟀的电路比较简单，只有17个电子元件、1个结构件。但想把它做得精致漂亮也绝非易事。笔者几年前曾在国内的数码和模型论坛中看到过一种用废旧电子零件、弹簧、打火机材料制作的摩托模型，结构精巧，堪称艺术品。我非常佩服那些制作高手们的创意和技巧，也多次尝试进行类似的制作。这部机器人可以说和那部摩托模型有着异曲同工之妙。

太阳能蟋蟀有一个需要自制的结构件，这个结构件的作用是固定两只微型电机，同时起着连接储能电容和搭载电路部分的作用。

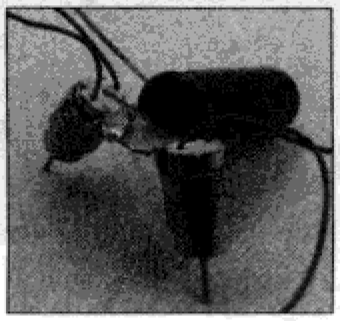
1 使用从废旧电源插座里拆出的一块铜片，改装成一个卡子。图左为拆出的铜片，图右为改造好的样子。铜片很好加工，使用剪刀和尖嘴钳子就可以了。也可以使用铁皮（来自废旧光驱外壳）制作这只卡子。



2 把3300μF储能电容的负极焊在卡子上。注意负极引脚留出一段不要剪掉，用来连接电路部分。



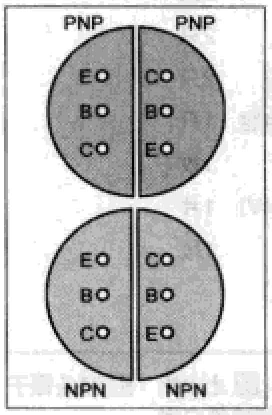
3 卡子的作用是固定两只微型电机，图示为电机装在卡子上的样子，电机轴向下。储能电容的顶部着地，与两只电机轴形成三点支撑。改变两只电机之间的夹角可以微调机器人跑动的速度，调整电容与电机夹角，可以调节机器人的重心。至此，机器人的结构就做好了。

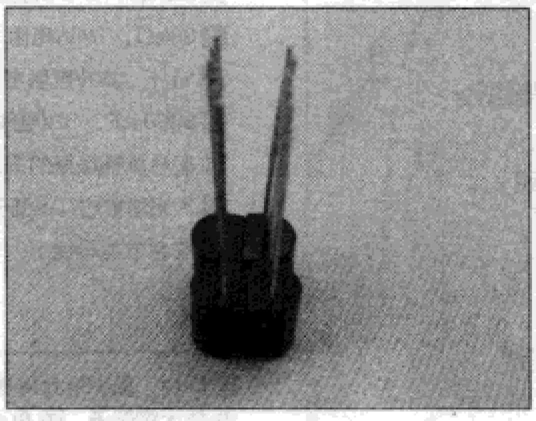


电路部分的制作过程

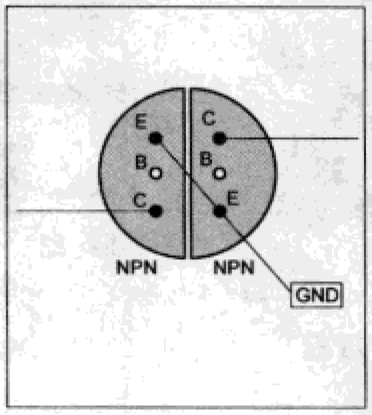
太阳能蟋蟀的核心由4只三极管构成，可以把它们看成机器人的心脏。首先要完成心脏部分的制作，其他元件将围绕着心脏部分环环相扣地进行搭建。

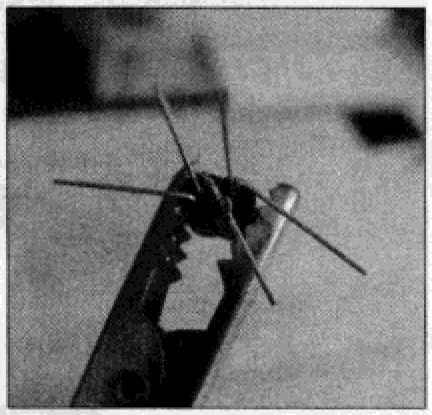
1 把4只三极管管脚朝上，排列成如图所示的布局。上方是两只PNP型三极管，下方是两只NPN型三极管。我使用的三极管是2N3906和2N3904，如果用其他型号的管子替换，需要仔细核对管脚顺序是否与图中一致。



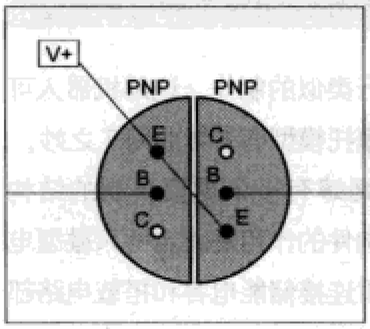


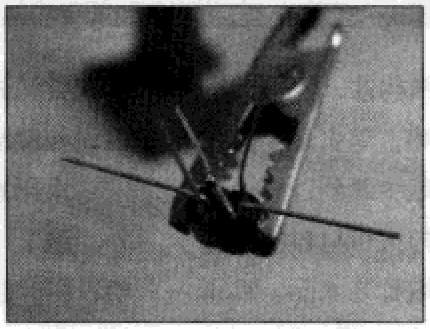
2 首先焊接下方的两只NPN型三极管。用镊子把两只管子的发射极向外展开，左侧管子的发射极向斜下方弯折，与右侧管子的发射极焊接在一起。注意在弯折管脚时，距离根部留出1~2mm距离，防止管脚折断。



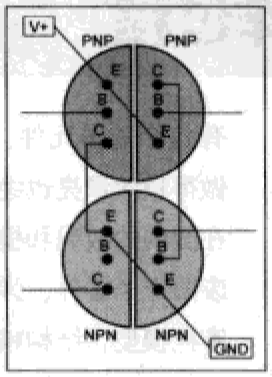


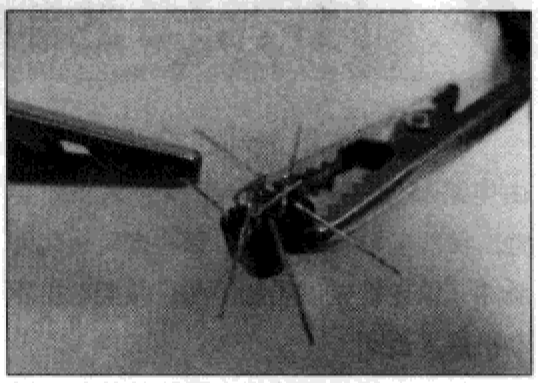
3 接着焊接上方的两只PNP型三极管。用镊子把两只管子中间的基极向外展开，右侧管子的发射极向斜上方弯折，与左侧管子的发射极焊在一起。



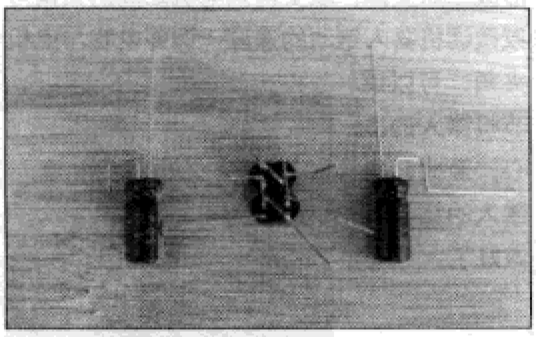


4 最后把4只管子焊接在一起，分别连接好左右两侧管子的集电极和基极，心脏部分即装配完毕。

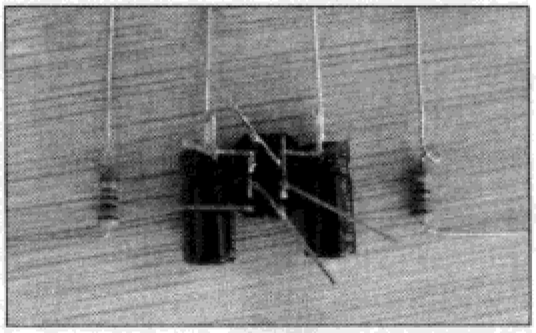




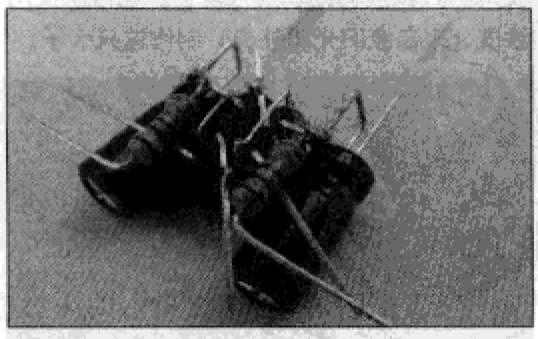
5 把两只1μF电容的正极弯成如图所示的形状，分别与上方PNP管子向外展开的基极焊接在一起。



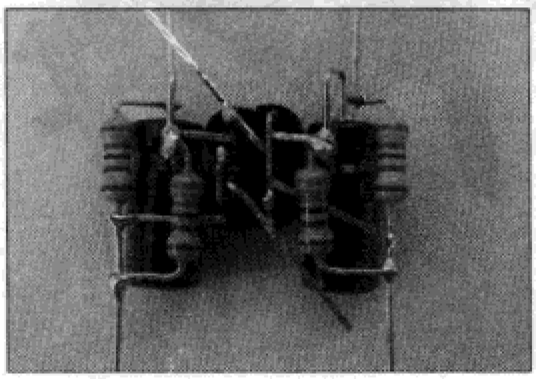
6 把两只3.3kΩ电阻一端打个弯，套在1μF电容的正极上，另一端折成90°直角，向外展开。



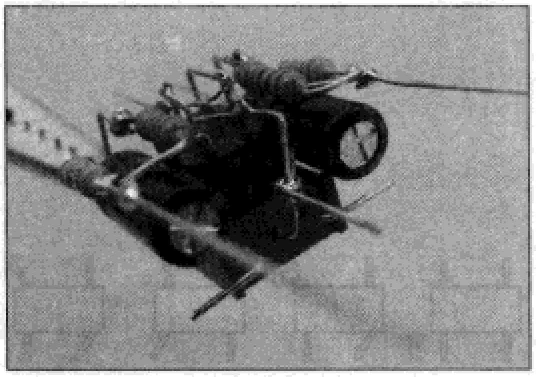
7 3.3kΩ电阻焊上去的样子，至此已经胜利在望了。



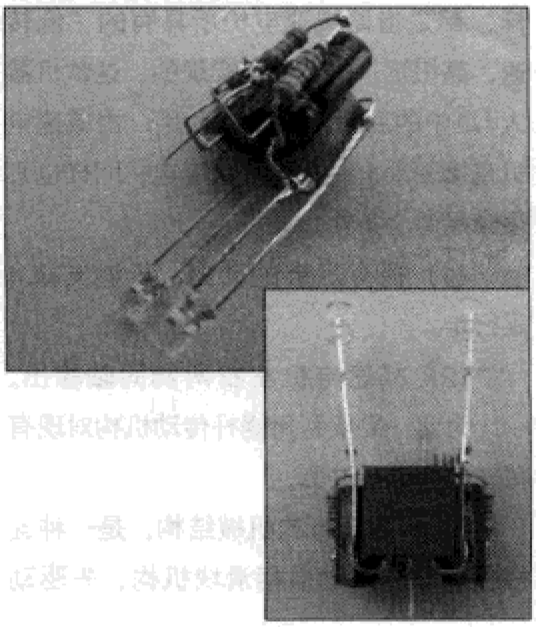
8 在两侧1μF电容的负极各焊接上一只33kΩ电阻。电阻的另一端与3.3kΩ电阻的直角和NPN型管子向外展开的集电极焊接在一起。



9 把多圈电位器中间的引脚与NPN型三极管的发射极焊接在一起。两侧的引脚向外展开成直角。

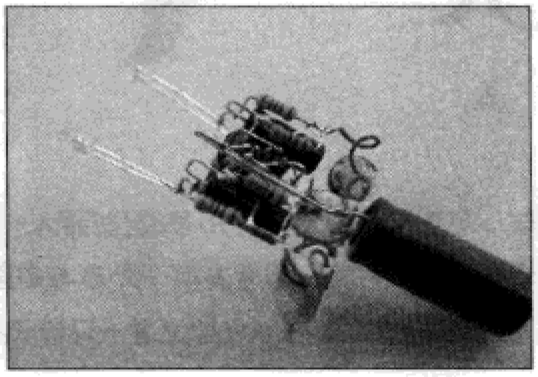


10 最后焊接两只单闪LED。LED负极焊接在多圈电位器两侧展开的管脚上，正极焊接在1μF电容的负极一端。把LED的引脚留出一定长度，为的是在总装后弯折出一个艺术造型。从侧面可以清晰地看出LED安装在电路中的情形。

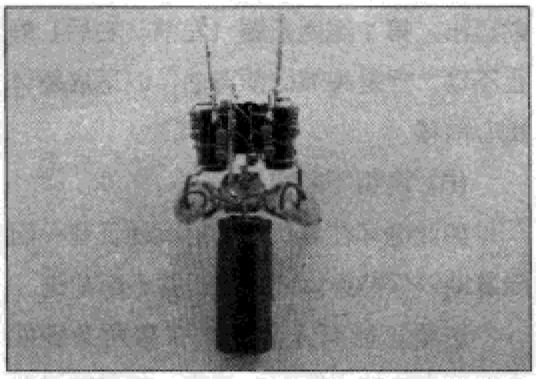


最后总装

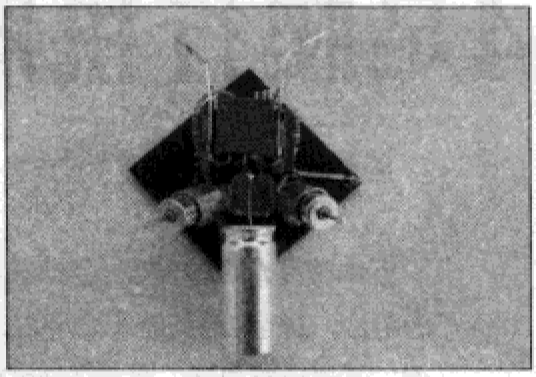
1 首先把电子部分的地端和储能电容预留好的负极焊接在一起。储能电容的正极贯穿4只三极管，与两只PNP管发射极预留好的V+焊接在一起。为了防止短路，给电容正极套上一段绝缘管。



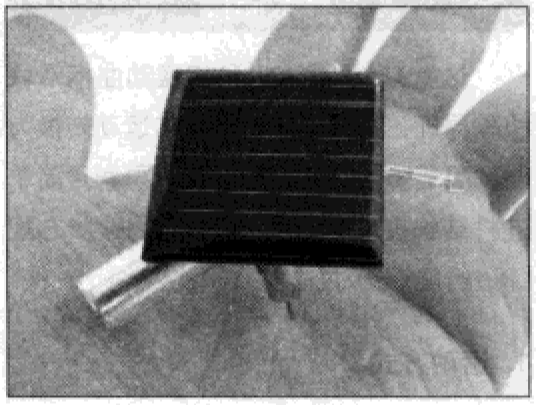
2 把两只微型电机连接到电路中，注意左右电机的正负极不要搞错，否则机器人运动的方向将是反的。



3 安装上太阳能电池的样子（底视图）。为了美观，用雕刻刀剥去储能电容的塑料外皮，露出银色的铝壳。单闪LED也向外弯折出一个角度。



4 最后装配完毕的样子。太阳能蟋蟀很小，可以在手掌上跳舞。



故障与排除

以下是几个可能出现的问题和相应的解决办法。

Q LED闪光，电机转一下就停止，不再触发。

A （1）电机灵敏度过高，可以尝试在电机两端并联一根100Ω的电阻，以降低它的灵敏度。

（2）用不透明胶带等物体贴在太阳能电池的表面，适当减小它的电流。

Q LED闪光，电机吱吱响，但是不转。

A （1）可能是储能电容容量过大，尝试减小储能电容的容量。

（2）在电机两端并联一只0.47μF左右的电容。

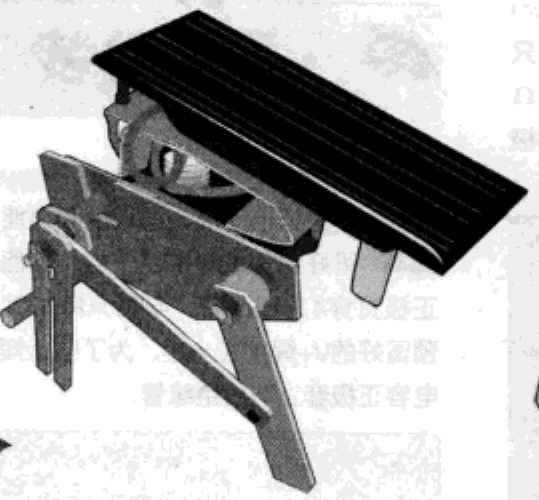
Q 电机不转，LED也不闪。

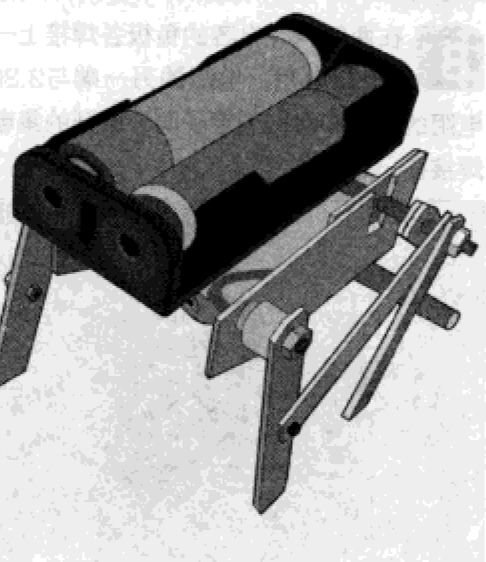
A 曾经遇到过新装好的机器人，接上太阳能电池以后，在阳光和灯光下都处于一种“假死”状态。可以试着用3节AAA电池，串联成4.5V电源接在储能电容两端，瞬间激活一下电路。

◇梁玮 ◇插画：刘少冉

PVC-Robot 14号

4足爬行机器人





本项目介绍的14号4足机器人，与13号双足机器人还有15号6足机器人一起，组成了PVC-Robot仿生类机器人最典型的组合。这个4足机器人之所以又称为机械狗，主要是因为其躯干外形与美国波士顿公司研制的BigDog运输机器人有点像，不过比起灵活、矫捷的BigDog，它十分缓慢、笨拙，只能说是一只笨笨狗了，呵呵。

演示视频：http://v.youku.com/v_show/id_XMjkwMzE0MTIw.html

基本原理

这款4足机器人，利用摆动曲柄滑块机构原理，把减速电机的旋转运动转换为驱动腿迈步的往复摆动运动，再利用简单连杆结构控制4条腿，模拟动物的步态规律进行爬行运动。

1. 运动方式

这款机器人模仿4足动物的爬行运动，其各腿之间协调运动的规律是完全不同的，这个规律我们称之为“步态”。4足动物爬行步态的分解图如图1所示，以前进方向为例进行说明：

（1）静止时4条腿同时着地。

（2）前进时，4条腿分为两组交替运动，对角的两腿为一组，即左前腿和右后腿为一组，右前腿和左后腿为另一组。

（3）第1组两条腿（左前、右后）往前迈出，第2组两条腿（右前、左后）静止不动，但是关节往前弯曲，以适应躯体重心前移。

（4）第1组两条腿（左前、右后）迈出后静止。

（5）第2组两条腿（右前、左后）往前迈出，第1组两条腿（左前、右后）静止不动，但是关节往前弯曲，以适应躯体重心前移。

（6）两组不断交替……

如此循环往复，同一时间保证有一组腿着地以保持身体的平衡，并不断前进。

这里可能有人会问，仅靠两条腿能否保证身体的平衡呢？其实，如果前进时保证一定的速度，虽然同时只有两条腿着地，只能有一个很短暂的平衡，但是由于两组的腿交替速度比较快，总体上也可以让身体保持动态的平衡。

特别需要说明的是，如果整体前进的速度很慢，其中一组静止着地的两条腿是无法保持整个身体平衡的，必须还要让第三条腿也着地，即利用3点确定一个平面原理来保持平衡。在本项目中，由于机器人的运动速度很慢，两组腿交替迈步的时候，后腿都是着地的，即使是往前迈步的一组，前面的腿是离地迈步的，而后面的腿还是接触地面以“拖步”的方式迈步的。

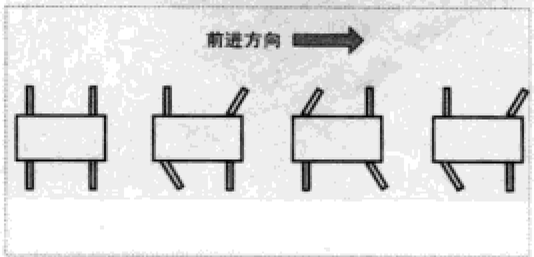


图1 4足动物爬行步态分解

2. 驱动机理

本项目对于4足的驱动力量也有一定要求，所以与前几个仿生类机器人项目一样，都是借助减速电机所具有的“低转速、高扭矩”的特性来实现的。这款机器人4足中的后面两足是主动足，由减速电机直接驱动，而采用的减速电机同样也必须满足两个条件：

（1）拥有足够的动力，能够支撑4足行走。

（2）减速电机左右两侧同轴输出。

为此，需要利用蜗杆传动机构对现有减速电机进行改造。

实现4足爬行的机械结构，是一种连杆机构——摆动曲柄滑块机构，先驱动

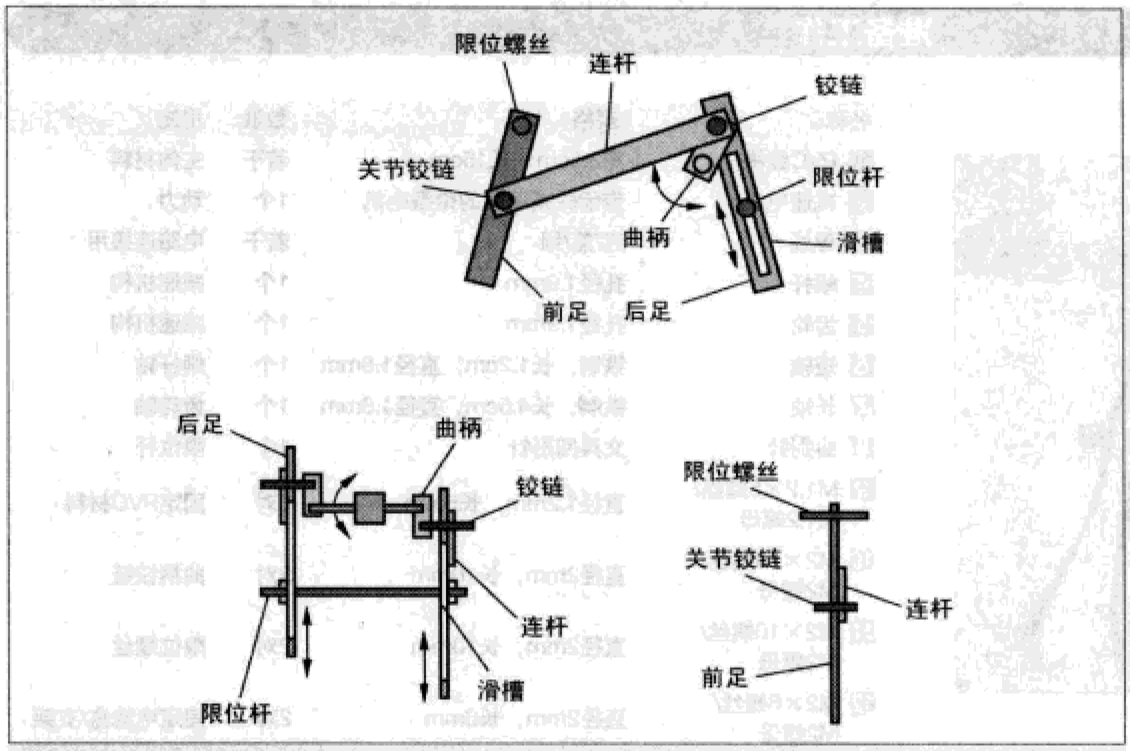


图2 PVC-Robot 14号连杆机构

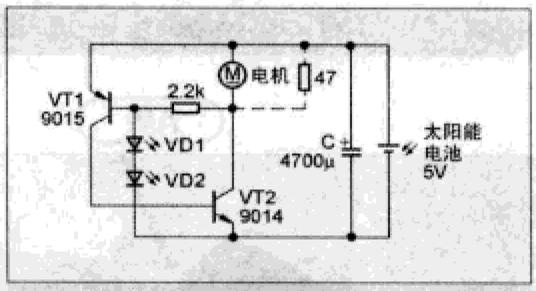


图5 PVC-Robot 14号B版电路图

后面两足，然后再通过连杆带动前两足联动。

相关方案的原理在本刊2011年第8期关于PVC-Robot 15号6足机器人的介绍中已经进行了详细阐述，这里不再重复。

为了让两组足交替向前迈步行走，摆动曲柄滑块机构的安装比较巧妙，如图2所示。为了直接驱动后面的两足，我们用了左右两套相同的连杆机构，且为同轴的方式安装，但两个连杆铰链结合部分的位置正好相反，即分别位于转盘一条直径线上的两端，也就是曲柄的位置正好相反，使得左右两套连杆机构在同一时间的运动状态刚好相反。另外，前足通过一个连杆和后足的曲柄相连，同时后足由限位杆控制住摆动的范围。

4足通过连杆进行联动的方式如图3所示，同一列状态下的两个图为同一时刻左右两侧各足的状态。两个后足以“拖动”的方式向前迈步（即都不离开地面），可以看到任何时候都有3条腿着地以保持身体平衡。

3. 电路原理

与之前的几个仿生机器人一样，本项目也分为常规电池版（A版）和太阳能版（B版）。A版的电路非常简单，就是直接用一组电池连接一个电机，中间通过一个拨动开关来控制电路的通断，如图4所示。

B版采用经典的太阳能脉动充放电控制电路，不过属于改良型版本，即采用了额定电压为5V的太阳能电池板，整个电路的电压由原来的3V变为5V。为了充分利用电能，电路充电的电压上限需要加大，即原来用一个LED变为用两个LED。假如使用了功耗比较小的电机，在光线较强的情况下，电路放电带动电机转动时，由于电机消耗的电流比较小，导致放电的速度还跟不上充电的速度，这样就会导致电路处于一种“半导通”的死循环状态，无法正常运行下去，也就是出现了电机开始转了一下之后就再也不转了的情况。为了解决这个问题，可以考虑在电机两侧并联一个47Ω的小电阻（色环：黄紫黑金棕），具体见图5中电机两侧用虚线连接的电阻。当然，如果采用功耗大一些的电机，这种情况就不会发生，请根据情况进行处理。

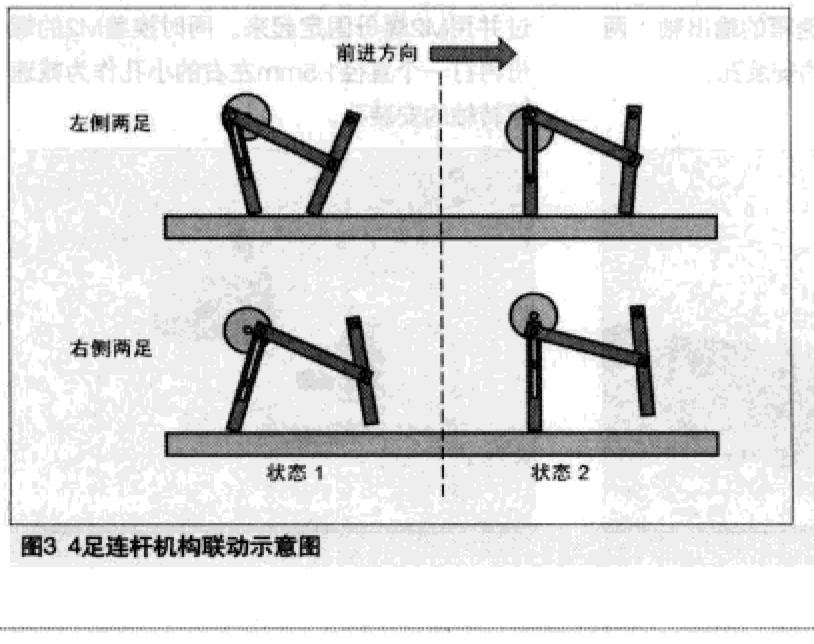


图3 4足连杆机构联动示意图

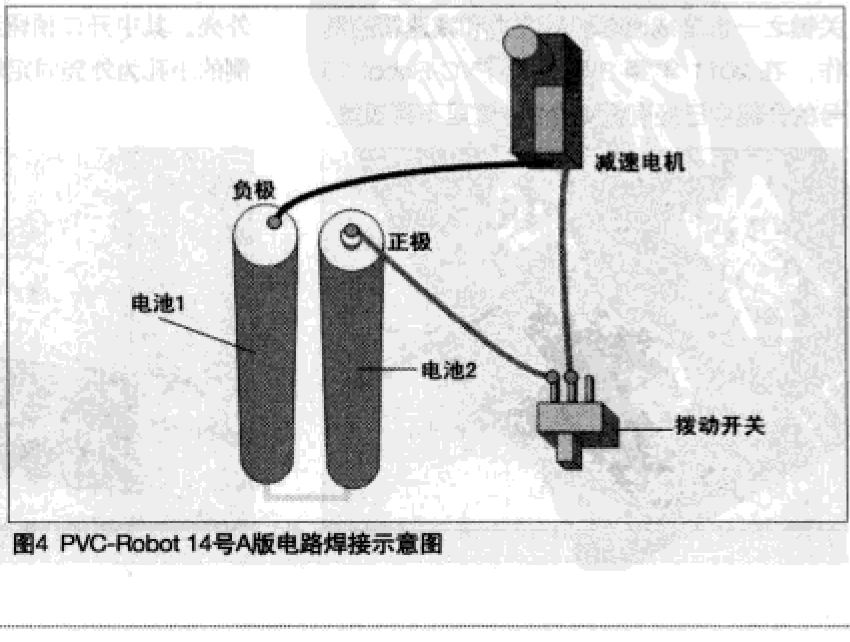
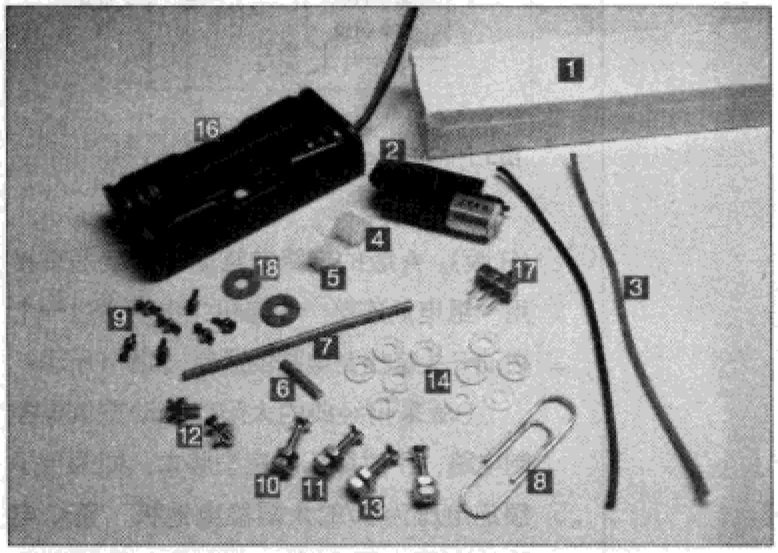


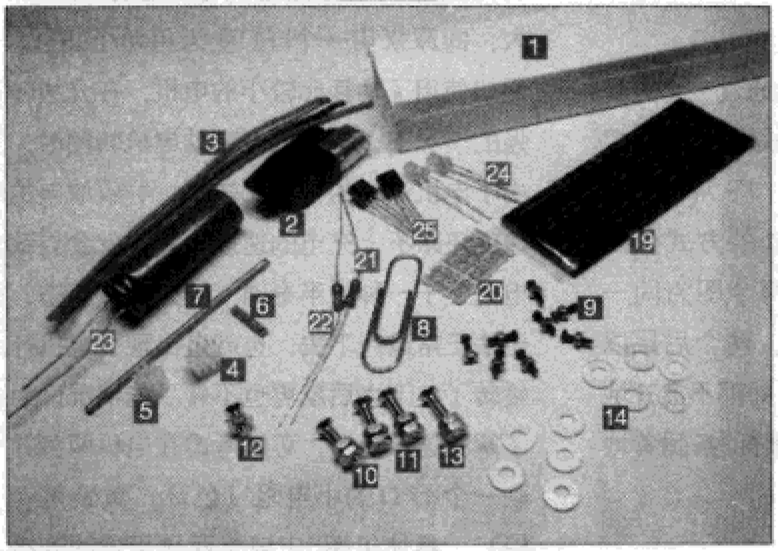
图4 PVC-Robot 14号A版电路焊接示意图

准备工作

A版



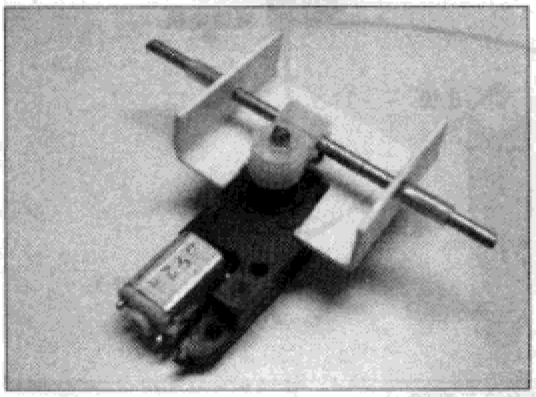
B版



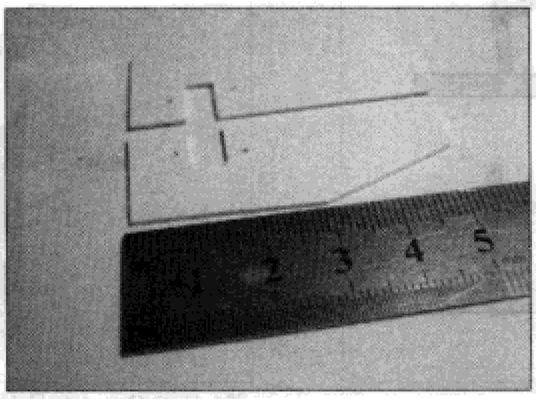
名称	规格	数量	用途
1 PVC线槽	宽2.5cm，长15cm	若干	主体材料
2 减速电机	带齿轮减速箱的微型电机	1个	动力
3 导线	红/黑/绿	若干	电路连接用
4 蜗杆	孔径1.9mm	1个	减速机构
5 齿轮	孔径1.9mm	1个	减速机构
6 短轴	铁制，长1.2cm，直径1.8mm	1个	蜗杆轴
7 长轴	铁制，长4.5cm，直径1.8mm	1个	齿轮轴
8 曲别针	文具回形针	1个	限位杆
9 M1.2×5螺丝/M1.2螺母	直径1.2mm，长5mm	8对	固定PVC材料
10 M2×10螺丝/M2螺母	直径2mm，长10mm	2对	曲柄铰链
11 M2×10螺丝/M2螺母	直径2mm，长10mm	2对	限位螺丝
12 M2×6螺丝/M2螺母	直径2mm，长6mm	2对	固定电池盒/支架
13 M2螺母	直径2mm	4个	固定曲柄、限位螺丝
14 M2垫片	直径2mm	10片	关节/铰链垫片
15 干电池/充电电池	7号	2节	A版电源
16 电池盒	7号电池盒（2节）	1个	A版电源
17 拨动开关	小拨动开关	1个	A版电源开关
18 M3垫片	直径3mm	2片	A版装饰(眼睛)
19 太阳能电池	5V	1片	B版电源
20 电路板	电路实验板/万用板/洞洞板	1块	B版电路板
21 电阻	2.2kΩ（色环：红红黑棕棕）	1个	B版电子元件
22 电阻	47Ω（色环：黄紫黑金棕）	1个	B版调试备用元件
23 电解电容	4700μF	1个	B版电子元件
24 LED		2个	B版电子元件
25 三极管	9014、9015各1个	2个	B版电子元件

机械结构的制作过程

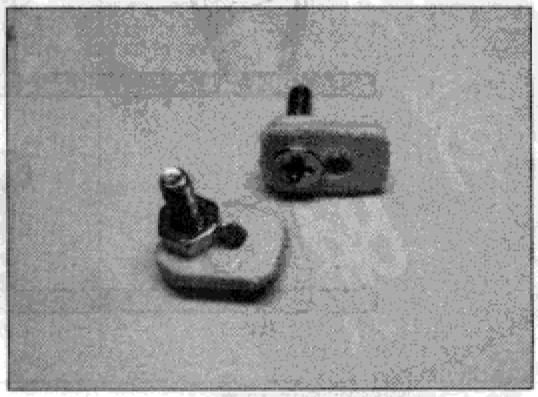
1. A、B两版的机械结构是通用的。与前面几个仿生机器人一样，本项目的关键之一也是减速电机的改造和减速箱的制作，在2011年第8期关于PVC-Robot 15号的介绍中已经有详细介绍，这里不再重复。



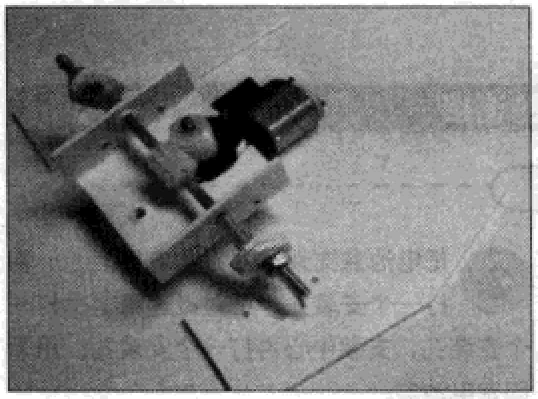
2. 剪两块长5cm、宽2cm的PVC方块，按照图示尺寸裁剪成如下形状，作为外壳。其中开口预留给减速箱的输出轴，两侧的小孔为外壳固定螺丝的安装孔。



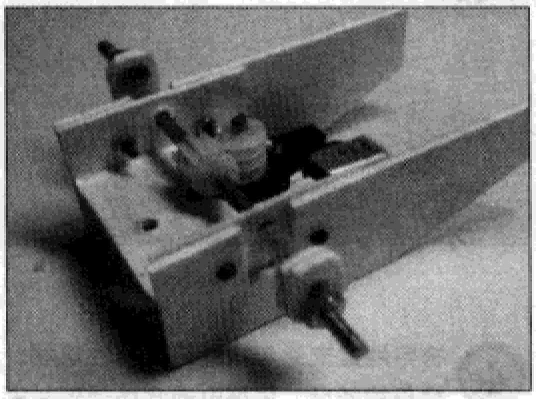
3. 先制作曲柄。剪小块的PVC片，双层叠在一起，用M2×10的螺丝打孔穿过并用M2螺母固定起来。同时挨着M2的螺母再打一个直径1.5mm左右的小孔作为减速箱转轴的安装孔。



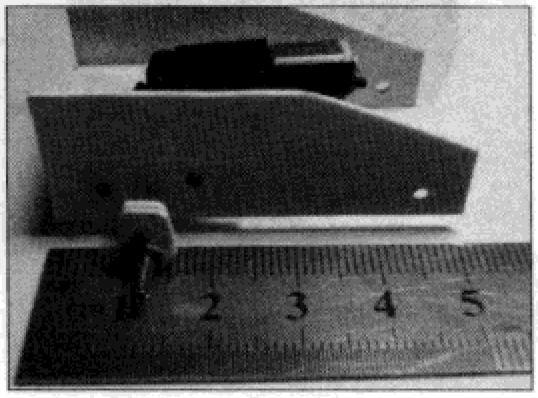
④ 把曲柄套在减速箱的转轴上，中间套一圈透明胶带缠绕而成的限位胶套。注意减速箱输出转轴两侧的曲柄安装位置正好是相反的（如果一侧处于最高位置，另一侧就处于最低位置）。曲柄与转轴的固定依赖502胶水，请注意502胶水千万不要滴得过多，以免由于胶水渗透性过强，导致粘住其他地方。然后在减速箱上，对着外壳的两个安装孔也打好小孔。



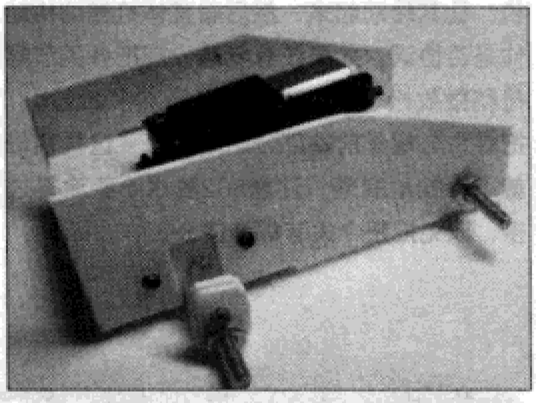
⑤ 用M1.2×5螺丝、M1.2螺母把外壳固定到减速箱上。



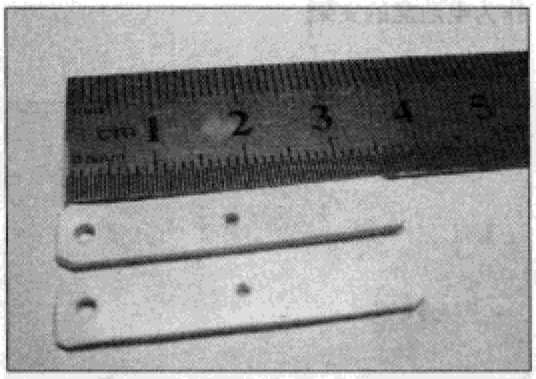
⑥ 在外壳前端边距大约0.5cm，与减速箱转轴同样水平高度的地方，打一个直径2mm左右的小孔。外壳两侧都要打。



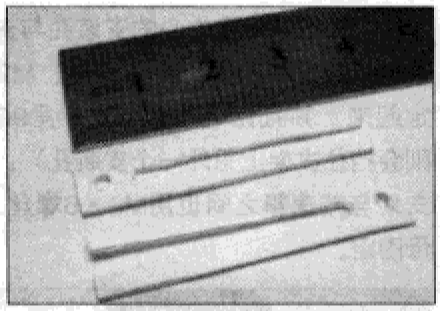
⑦ 将M2×10螺丝、M2螺母穿过小孔固定好，做成前足的限位螺丝。



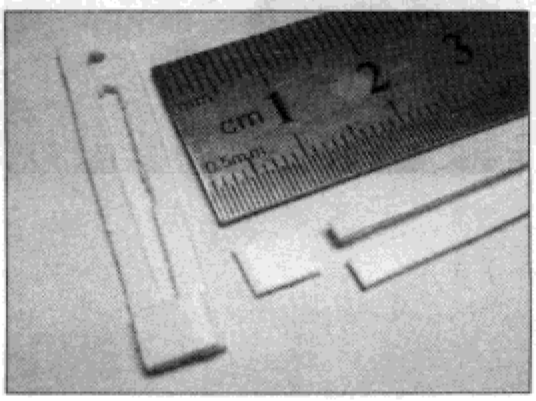
⑧ 剪4根长3.5cm、宽0.8cm左右的PVC方条，作为4足。其中两个前足的一侧打一个直径2mm的小孔，中间再打一个直径1.2mm的小孔。



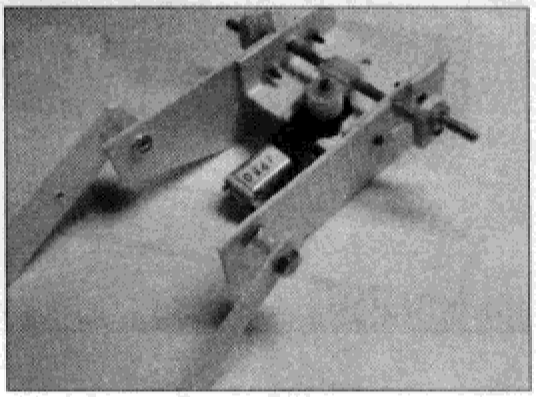
⑨ 后足需要剪开一段槽位，并且在槽位开口的另一侧打一个直径2mm左右的小孔。



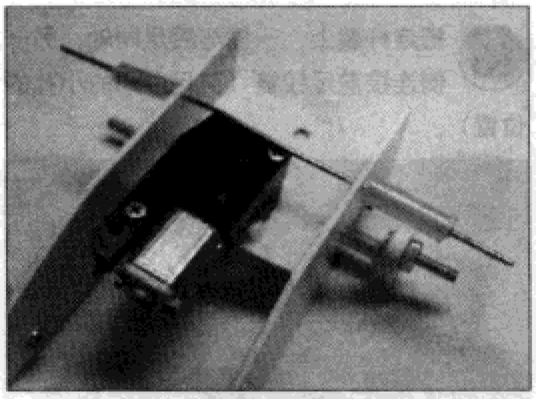
⑩ 剪一小块PVC方块，涂上少量502胶水，把后足槽位的开口封起来。



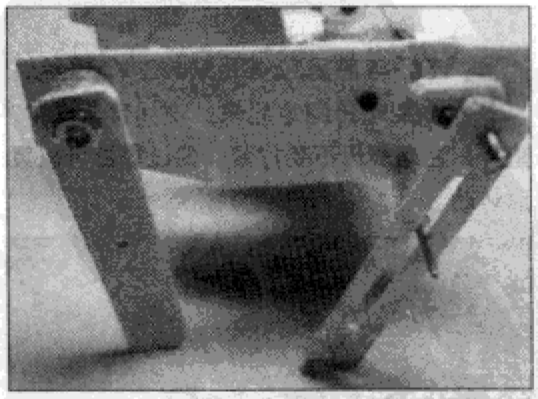
⑪ 在前足的限位螺丝上套上4片M2垫片，把前足装上，并用M2螺母固定起来。注意螺母不要拧紧，要让前足可以灵活摆动。



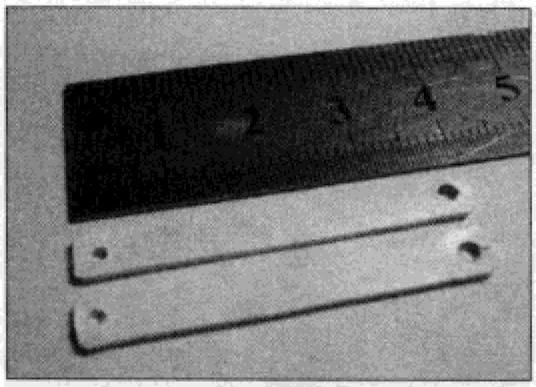
⑫ 在两侧外壳上部与减速箱转轴同一垂直线的位置，各打一个正好对应的小孔，把用尖嘴钳拉直的曲别针穿过其中，作成限位杆。在限位杆和小孔接合的地方点上一点502胶水，加以固定。然后用透明胶带缠绕而成的胶套套在限位杆上。注意胶套的长度要截取到正好与曲柄上的固定螺母齐平的长度。



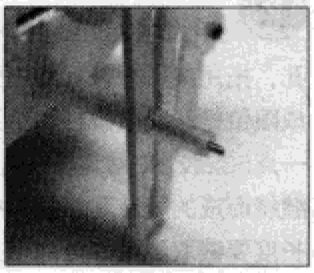
⑬ 把后足安装到曲柄上，并且把限位杆套入后足的滑槽中。



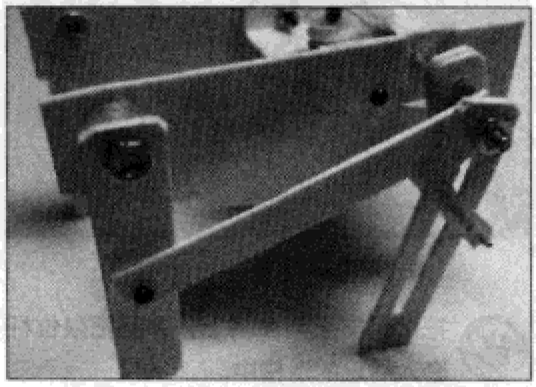
14 剪两段长4cm、宽0.8cm左右的PVC方条，其中一侧打2mm左右的小孔，另一侧打1mm左右的小孔，做成连杆。



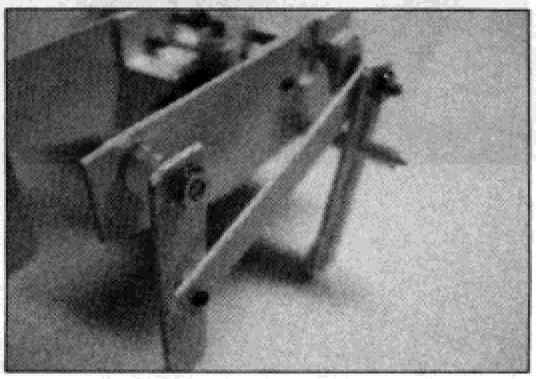
15 在限位杆外侧再套一个用透明胶带缠绕而成的胶套。把限位杆过长的部分截断，限位杆前端可以涂上502胶水固定起来。



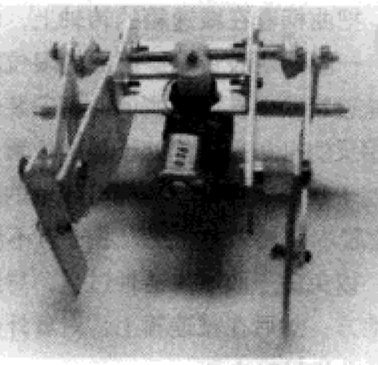
16 把连杆装上，一侧与后足同轴，另一侧连接前足铰链（前足中间的小孔的位置）。



17 连杆与前足铰链用M1.2×5螺丝、M1.2螺母固定起来，中间套一个M2垫片。注意螺母不要拧紧，要让铰链可以灵活转动。



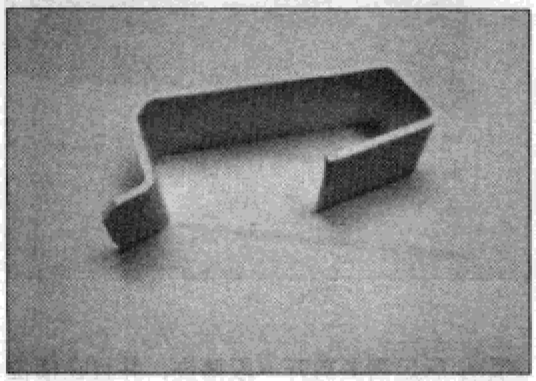
18 至此，机械结构的组装就完成了。可以把电池用导线直接连接到减速电机，让其转动起来，然后看整体机械结构动作是否协调，如果没有问题，则把各关节螺母稍微放松一点，用牙签蘸一点502胶水，把螺母与螺丝前端部分固定起来，这样螺母就不会松动脱落。注意502胶水不能涂得过多，以免把整个关节都粘住。



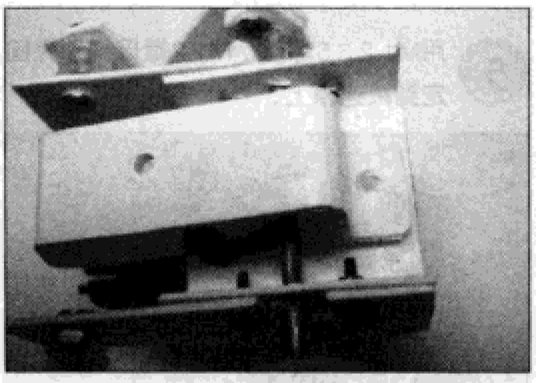
动力系统的连接

A版

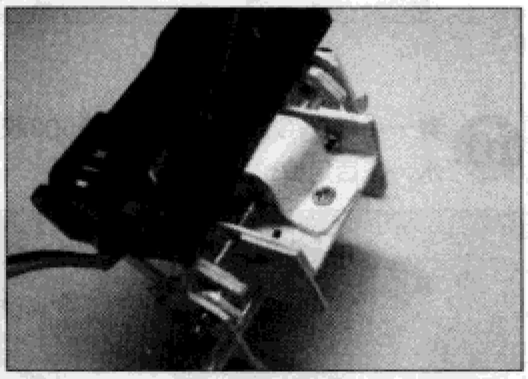
1 裁剪一块长5cm、宽1.5cm左右的PVC方块，用尖嘴钳折成如下形状，作为电池盒的支架。



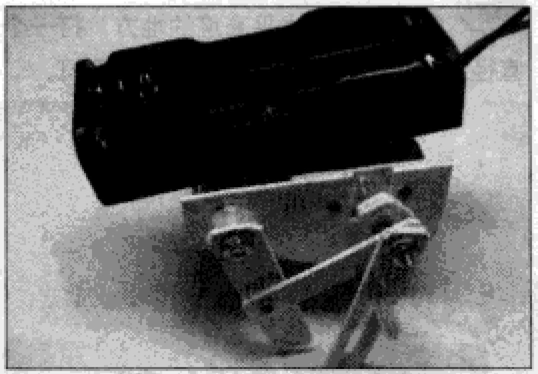
2 把电池盒支架罩到减速电机上，一侧打一个安装孔，正对减速箱上也打一个安装孔，支架中心再打一个安装孔，用于固定电池盒。



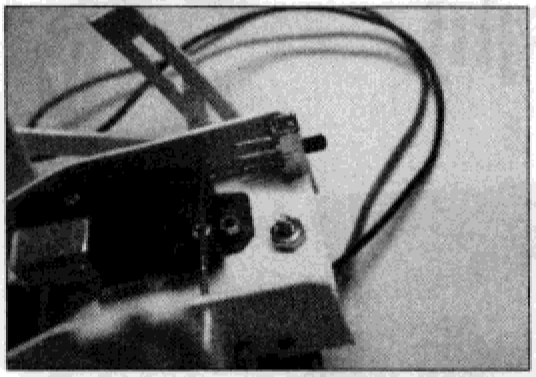
3 先把电池盒中心的安装孔与支架中心的安装孔用M2×6螺丝、M2螺母固定起来，并且让电池盒与支架呈90°（否则会挡住支架上另外一个安装孔）。电池盒支架与减速箱之间也用M2×6螺丝、M2螺母固定。



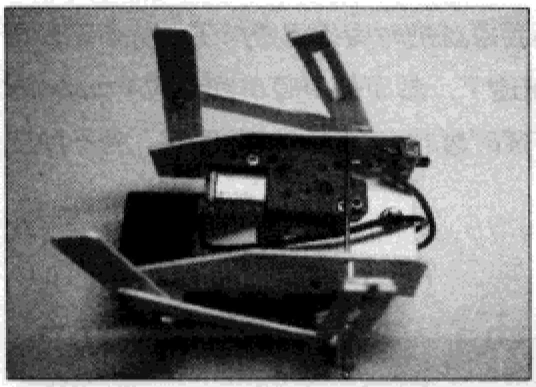
4 将电池盒支架与减速箱之间的螺丝、螺母拧紧后，再把电池盒转动到与支架平行的角度。



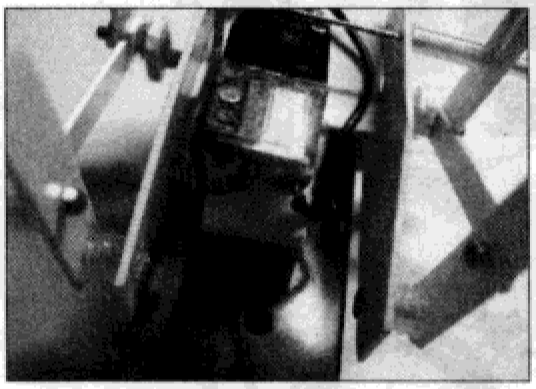
5 在减速箱后部用少量502胶水把拨动开关固定起来。



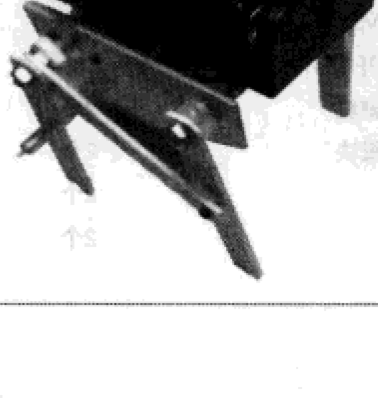
6 根据电路焊接示意图（图4），把电路连接好。



7 电池盒支架只有一端是用螺丝、螺母固定在减速箱上的，可能会有些不够稳固，可以把支架抵住减速电机的另一端用透明胶带绑在减速电机上。

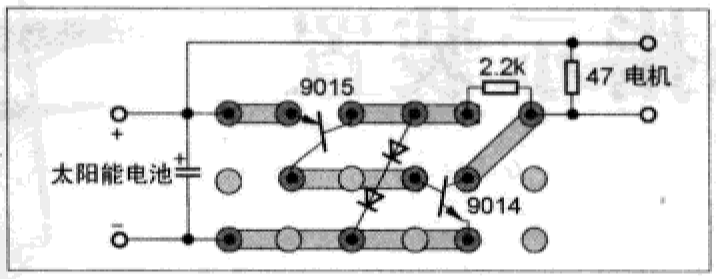


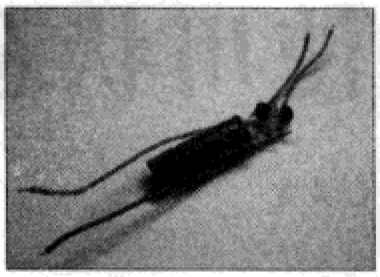
8 为了美观，把两片M3垫片用502胶水粘贴到电池盒前端的圆槽里。



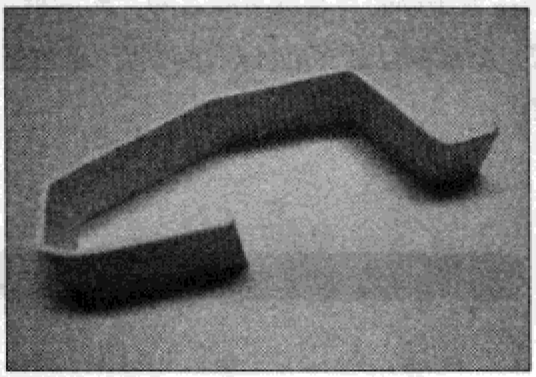
B版

1 按照如下的焊接示意图，在洞洞板上焊接电路。把焊接好的电路板与减速电机、太阳能电池板等连接在一起，如果正常，在太阳光下或者高亮度的白炽灯前，减速电机可以有规律地进行间歇转动。

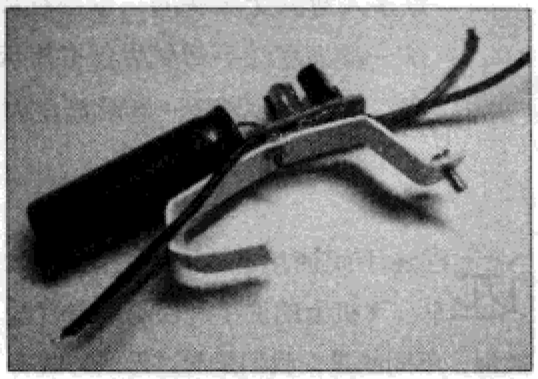




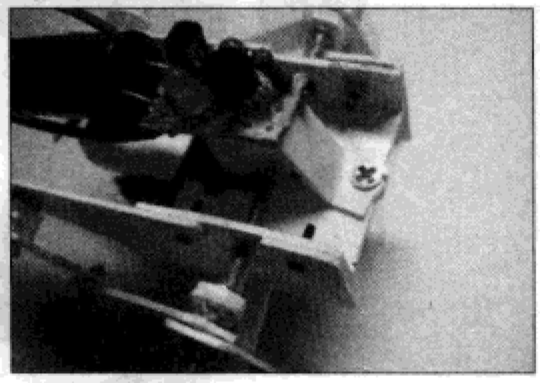
2 剪一块长7cm、宽1cm左右的PVC方条，折成如图所示的形状，做成电路支架。



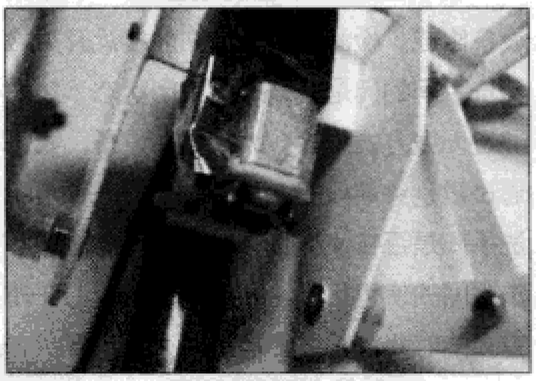
3 把控制电路板用M1.2×5螺丝、M1.2螺母固定在支架上。支架另一侧打一个孔，用M2×6螺丝穿过。



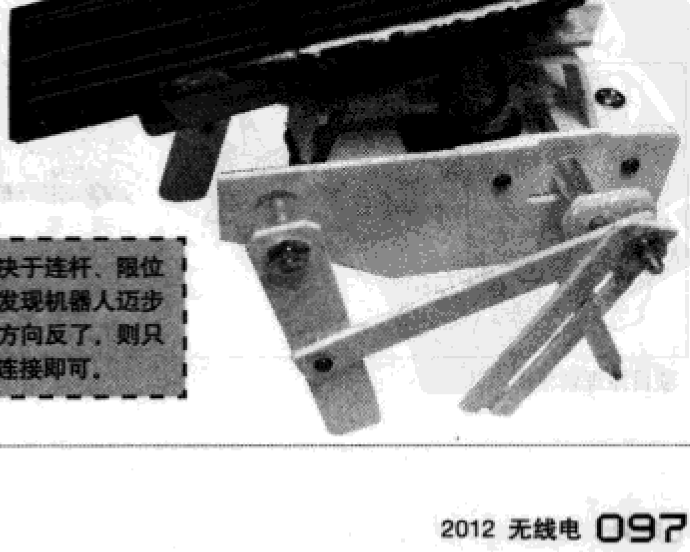
4 把支架用M2×6螺丝、M2螺母固定在减速箱上。



5 为了更稳固，可以用透明胶带把支架的另一端绑在减速电机上。



6 把电路板上的导线与太阳能电池连接起来，并用透明胶带把太阳能电池捆绑在电解电容上。



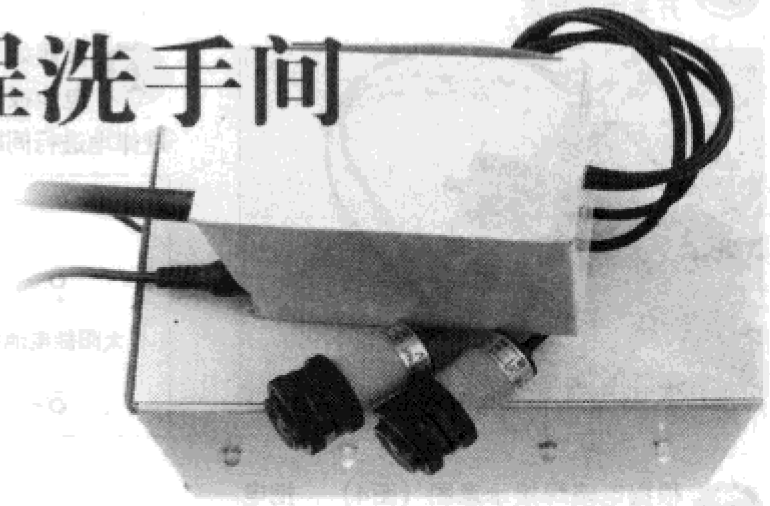
步态调试

各关节是否协调顺畅，主要还是取决于连杆、限位杆等结构的位置与尺寸是否合理。假如发现机器人迈步爬行的方向反了，说明减速电机转动的方向反了，则只要把连接减速电机的两根导线调换过来连接即可。

让Arduino帮助我们抓住时间

基于Arduino的远程洗手间使用状态指示装置

◇吴雷



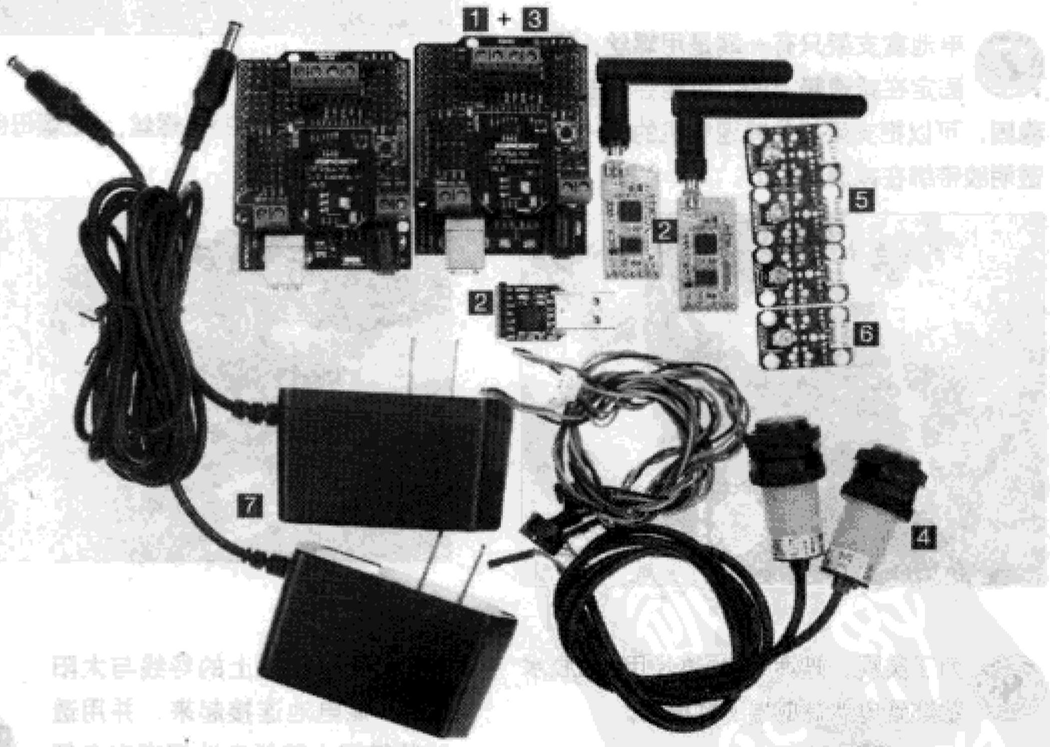
俗话说“寸金难买寸光阴”，人生最宝贵的就是时间。日常生活中，我们不经意就把时间给浪费掉了，比如在公司许多人排队上洗手间，你往往会频繁往返于办公桌与洗手间之间，时间就悄然流逝了，然而使用简单宜用的Arduino制作一款远程洗手间使用状态指示装置，就能够让更多的人抓住时间。这也是时下很时髦的名词——“物联网”的一种应用。下面就跟着我一起来抓住时间吧！

远程洗手间使用状态指示装置与火车、飞机上的洗手间使用状态装置类似，不同的是，我们是通过无线方式将数据传输到较远的地方，方便离洗手间远的人了解洗手间的使用状况。

该装置由一个检测装置和一个终端设备组成。检测装置通过红外接近开关检测洗手间的门是打开还是关闭状态，然后通过无线方式传输数据到终端设备，我们通过辨别终端设备上的LED的颜色来判断洗手间是否在使用，这样便可以实时了解洗手间的使用状况，大大节省了我们在外等候的时间。无线传输距离在无障碍状态下可达1000m左右，在室内也能达500m左右。该装置适合于人多、洗手间少的场所，如公司、餐厅、商场等。

项目原理解析图

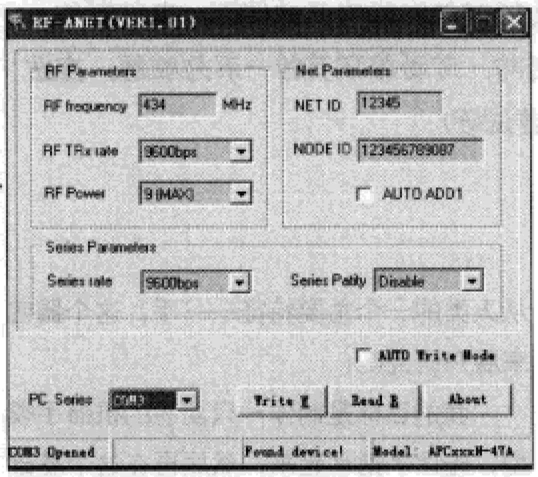
项目材料



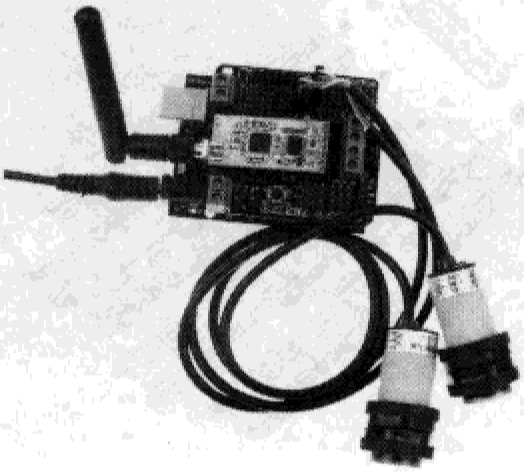
1	Arduino Duemilanove 328	2个
2	Arduino APC220 USB无线数据传输模块	1套
3	Arduino传感器扩展板V5	2个
4	Arduino数字红外接近开关	2个
5	Arduino红色LED发光模块	2个
6	Arduino绿色LED发光模块	2个
7	7.5V电源适配器	2个
8	纸盒	2个

制作过程

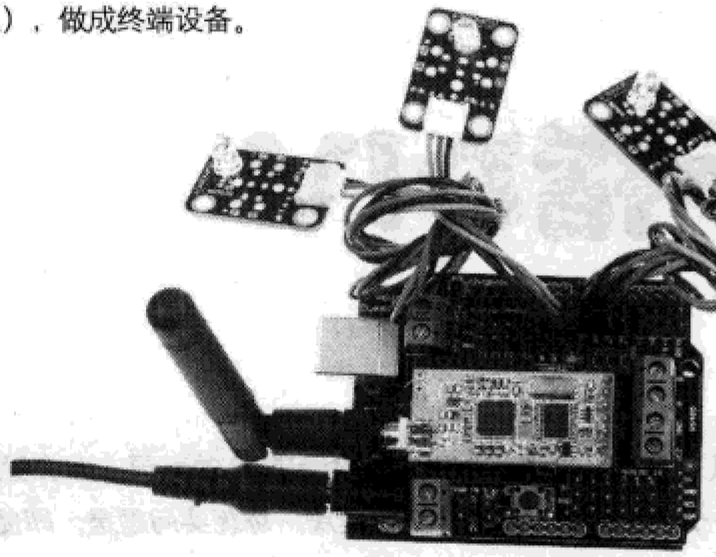
1 首先配置APC220。APC220模块的使用相当灵活，可以根据需求设置不同的参数。使用APC220模块自带的USB适配器连接到电脑上（USB适配器需要安装驱动程序），打开RF-ANET软件，将RF Frequency设置为434，RF TRx Rate和Series Rate都配置为9600bit/s，然后选择PC Series的端口，即USB适配器的COM端口，软件的状态栏会显示“Found device”（发现模块），最后点“Write”按钮进行写操作，模块就配置完毕了。注意两只APC220要配置相同的参数。



2 分别将两个Arduino传感器扩展板V5插到 Arduino Duemilanove 328上。先将两个红外接近开关分别插到其中一个Arduino传感器扩展板V5的数字口7和8引脚，然后将红外接近开关的检测距离调至最小，做成检测装置。注意，两个Arduino数字红外接近传感器用USB供电无法正常使用，需要使用电源适配器供电。

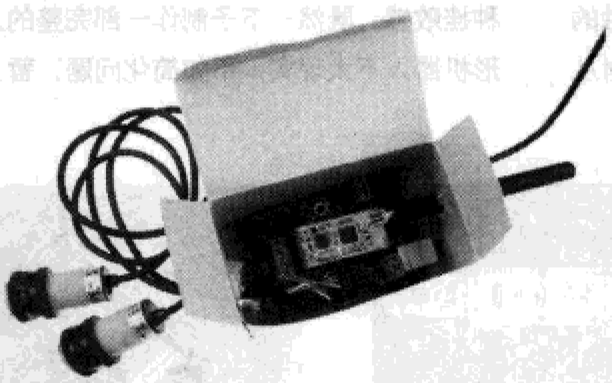


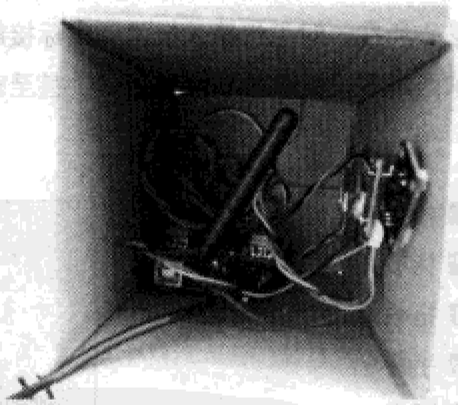
3 在另一个Arduino传感器扩展板V5的数字口7和8引脚分别插上红色LED发光模块，数字口6和9引脚分别插上绿色LED发光模块（红灯表示有人使用，绿灯表示无人），做成终端设备。



4 将编译好的程序分别下载到检测装置和终端设备上。注意，下载程序之前需要取下APC220。

5 做好以上工作，就可以将检测装置和终端设备分别装到两个纸盒中。注意，如果装到铁盒中，无线模块的天线需要露出来。





6 将检测装置安装到洗手间的门框上，能够检测到关门和开门即可。将终端设备放在办公桌上，通上电就大功告成了。

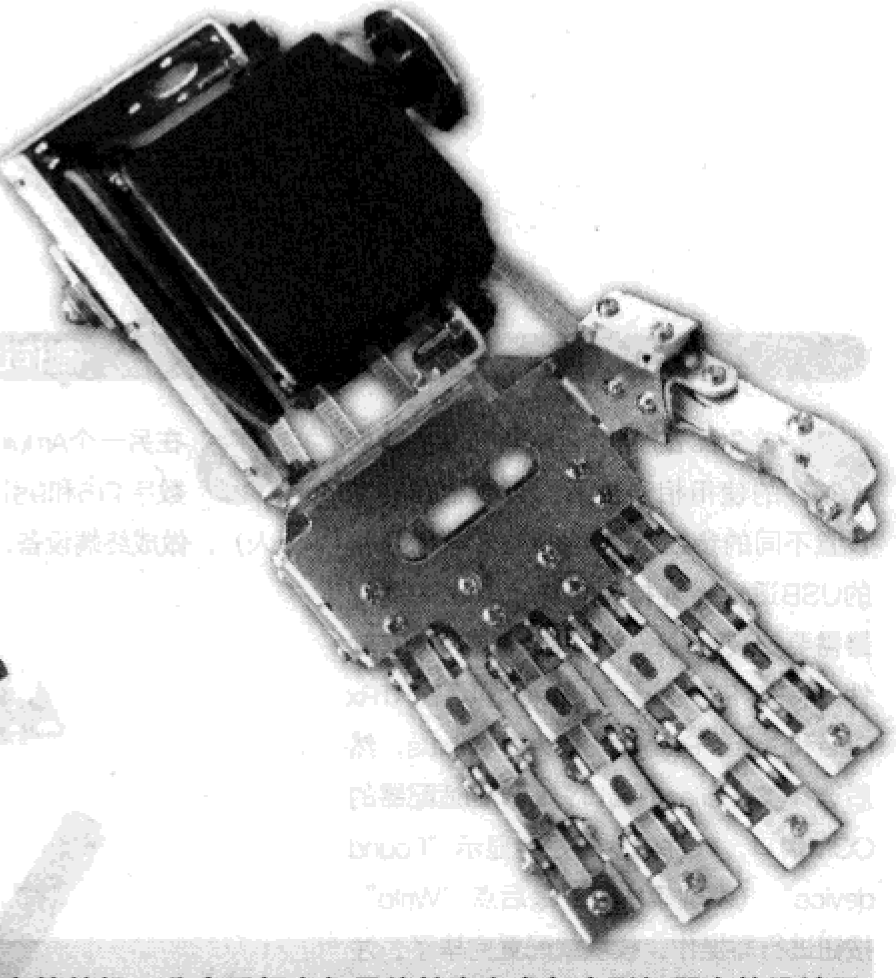
展望

有兴趣的朋友可以制作多个终端设备，让大家都能实时掌握洗手间的使用状况。这个制作很有意思，也有实用价值吧？那就赶紧行动吧！

■ **相关程序可以到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn上下载，相关套件可通过《无线电》杂志发行部与官方淘宝店boqu.taobao.com购买。**

◇臧海波

机器手指DIY

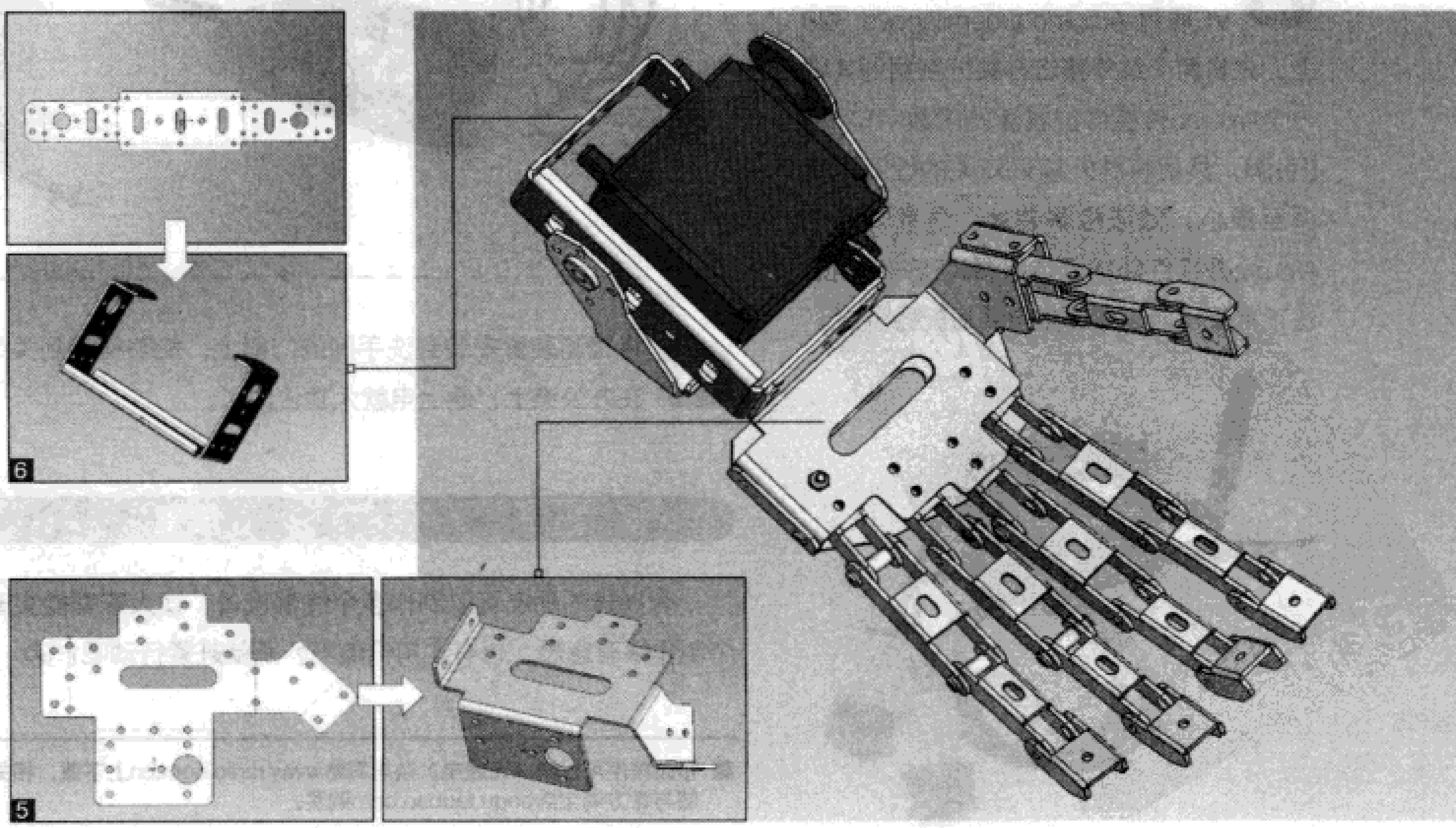


亲手制作一部人形机器人，是许多人自儿时起就有的梦想。业余爱好者如果能够亲身参与人形机器人的设计开发，哪怕只是组装一个小小的部件，也会受益匪浅。可现实问题是，即使抛开人工智能和微电子的层面，单纯制作一部类似终结者那样的人形骨架都不太可能。现代科技尚需解决机器人在动力、结构、传动等环节的一系列难题。在业余起点上，我们能够走多远？本文所展示的机器手指，就算是作者所做的一次小尝试吧！

透过表象看本质，作为一名“触电”多年的无线电爱好者，我深深体会到，只有深入到细节才能够探寻到问题的核心所在。对于机器人技术，实际接触的东西越多，就会发现懂得越少，甚至对从哪里开始制作这么简单的问题，都感到茫然。在这个信息共享的时代，每当看到国内外高手展示的优秀作品，都会产生出一种挫败感。既然一下子制作一部完整的人形机器人不太现实，不如简化问题，暂且从人类的一个主要特征——手，这个器官来展开研究吧！

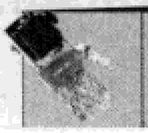
我的目标是制作一只简易的机器手模型，先让手指动起来，然后再在这个基础上逐步改进设计，制作更灵活的手。在网

1 指尖
2 指节
3 指根
4 手背
5 手掌
6 舵机支架
7 手指牵引器，机器手的手指就是靠它来操控的
8 牵引带的压片，用这个零件把5根手指的拉线固定在牵引器上



上可以找到很多成熟的机器手设计方案，它们大都采用舵机拉线控制，有5只舵机操纵5根手指单独动作的，还有1只舵机操纵5指同时动作的。因为是业余制作，大家制作手指关节采用的材料也是五花八门，比如废笔管、铝型材、铜板，都收到了不错的效果。

这是我第一次制作人形机器人的一个功能部件，为了增加成功率，目标定得比较低。因为左手比较显个性，我就设计了一只机器左手。这是一个由单只舵机同时拉动5根手指的简单结构，可以完成手指的伸展和握拳动作，并可以抓取小物体。严格来说，这个设计虽然具有人手的形态，但是功能上只是对人类手指运动的一个简单模拟，并不涉及更加复杂的手指、虎口、手掌、手腕的协调运动。所以我使用机器手指，而不是机器手，作为本文的标题。

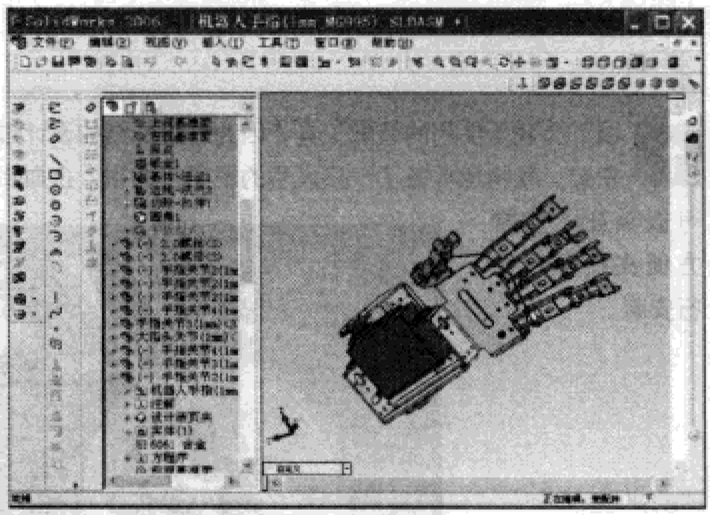


设计

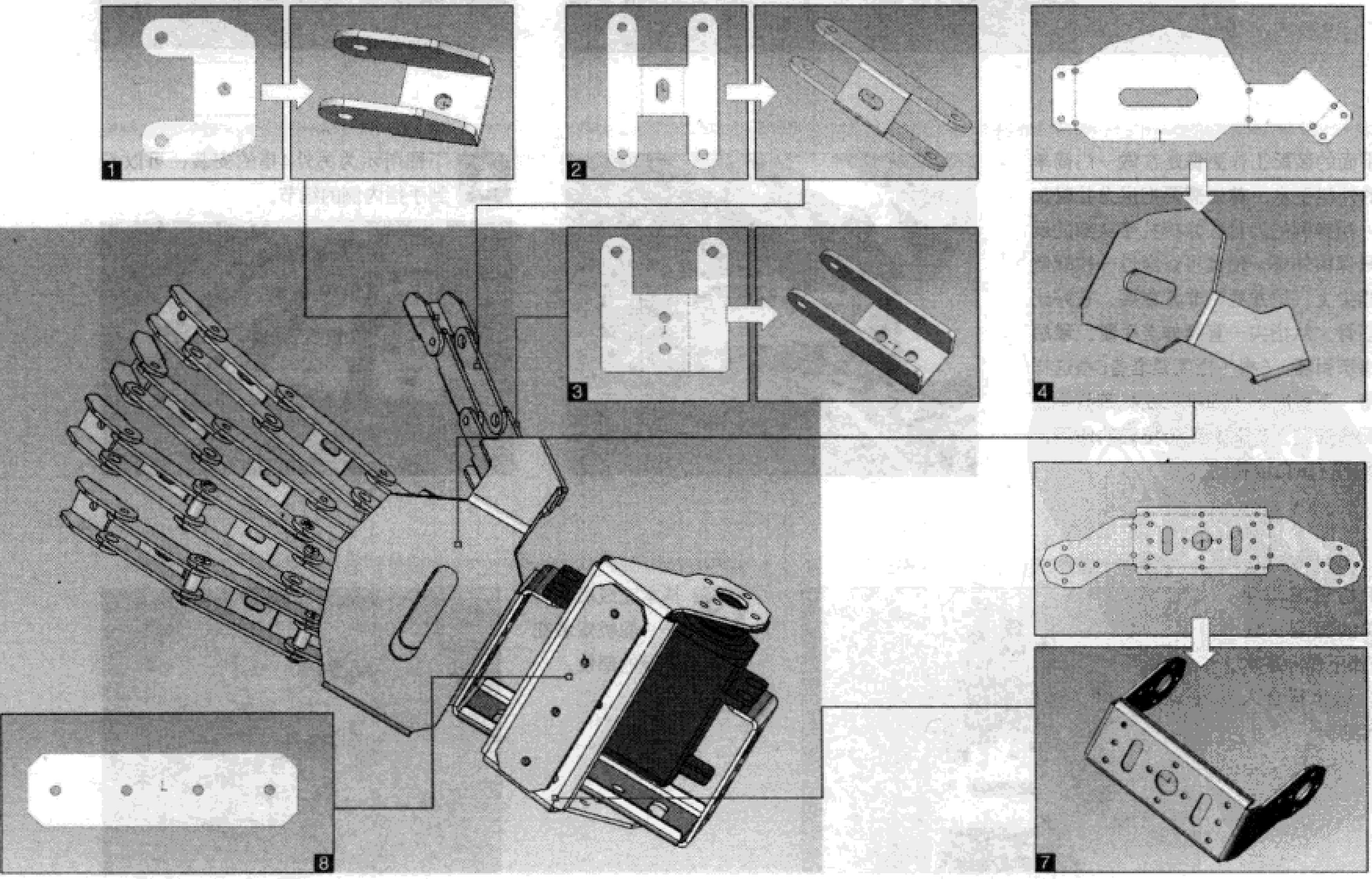
人形机器人的总体制造涉及的知识面太广，独立制作基本无法实现。相比之下，把问题集中在一个点上加以解决的优势就体现出来了，机器手的设计和制作只需掌握简单的解剖学、机械设计和机械制造、装配技术。

为了获得较好的外观与总体效果，我决定采用与机器乌龟（参见本刊2012年第1期的文章）相同的工艺，借助雕刻机辅助加工机器手的零件。机器手的三维建模与总体设计工作是在SolidWorks上完成的，之后由我的朋友陈瑞祺帮忙用雕刻机加工了出来。

以下为机器手在SolidWorks上的结构分解图。



在SolidWorks上进行装配预览

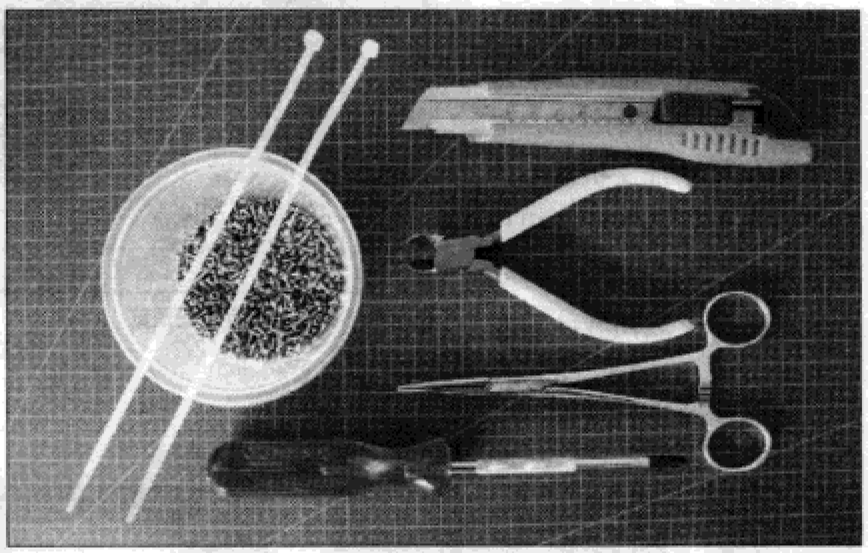


装配

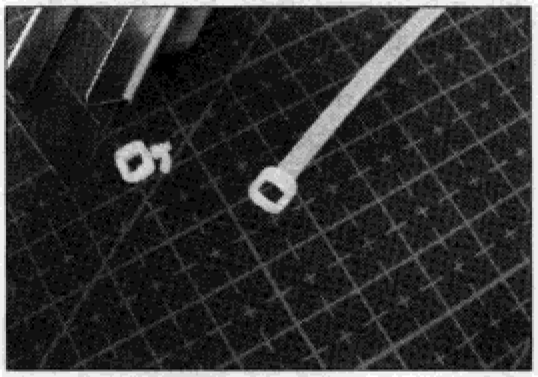
我认为，对于机器人制作来说，机器装配和电路装配处于同等的位置。或许有的读者会说，机装不就是拧螺丝吗？这个说法也许不错，但是须知机器人的装配环节和前面的设计环节是紧密挂钩的，再加上机器人的结构比单片机、音响等制作复杂得多，这就对装配提出了更高的要求。

不要小看这么简单的一只机器手，它上面的紧固螺丝多达65只！一些部位的螺母还需要借助特殊工具才能进行妥善安装。如果没有一定的经验，这将是一件令人抓狂的工作。

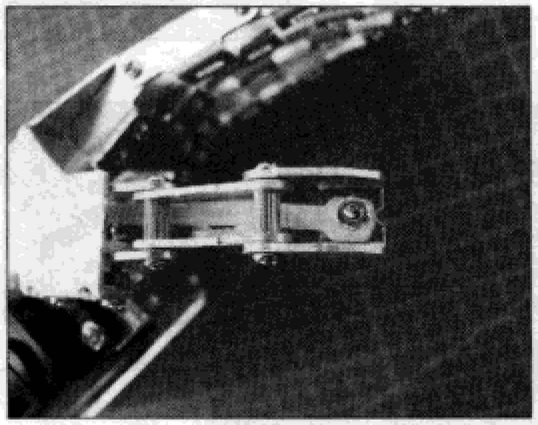
1 以下为我所使用的装配工具。因为手指的结构设计过于紧凑，使得某些部位的螺母很难安装。我特意准备了一只大号的医用止血钳。止血钳的头部是细长的弯曲形状，钳嘴还可以锁死，非常方便夹持螺母进行安装。



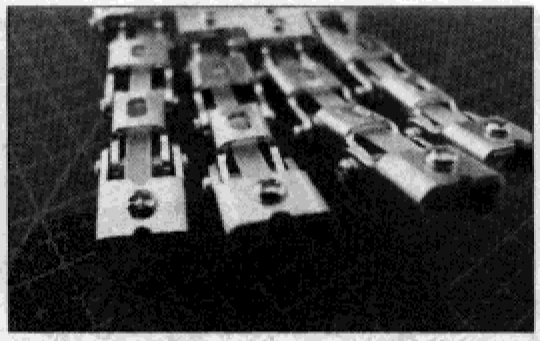
2 把尼龙扎带改造成手指的牵引带，尼龙材料韧性好，有一定的弹性，可起到类似人类肌肉与神经的效果。每个手指关节都设计有阻点，与尼龙扎带一起限制整根手指向后运动，防止其伸展过度，就像真正的人类手指一样。



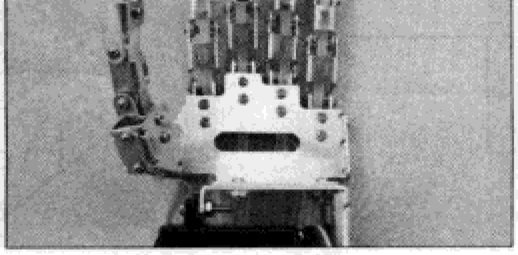
3 下面的装配工作更像是在做一门简单的外科手术。首先需要把尼龙扎带加以改造，用锋利的刀片去除掉扎带头部的反向锁，只保留外环，使其可以穿过一枚螺丝固定在指尖上。尼龙扎带非常重要，它好比手指的筋骨，从指尖一直延伸至手掌，最后抵达手指牵引器。5根手指需要准备5根这样的尼龙带。下图所示为拇指尼龙扎带与手指关节的配合安装。铜芯起到衔接轴的作用，使关节之间可以自由转动。



4 下图所示为另外4指的安装，可以看到手指内侧的细节。

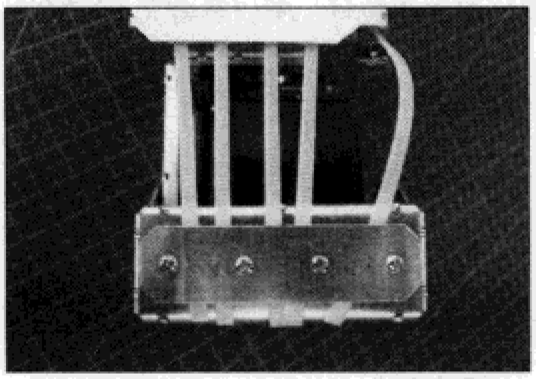


5 手指根部与手掌的固定。注意5指根部不在一条水平线上，这也符合人手的真实结构。

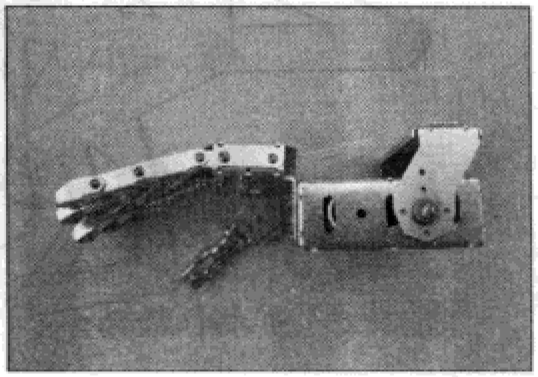


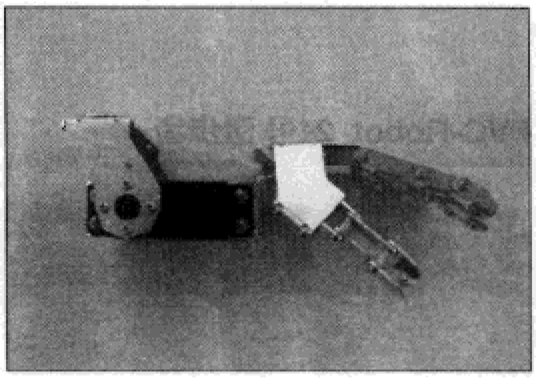
6 基本完成后的样子。舵机安装在手掌至手腕的部位。

7 最后一步，确定好尼龙扎带的长度，把它们用压片固定在牵引器上。在这里我遇到了一个小问题：装配好的机器手无法握拢，也抓不起物体。后来在与好友陈瑞琪和其他网友的探讨中认识到，人类的抓握动作首先应该是食指、中指、无名指和小指收拢，拇指最后才收拢，在这只机器手中，如果5指同时动作，会造成拇指和食指卡在一起收不拢的结果，这个问题在设计初期没有考虑到。好在调整起来很简单，只需把拇指的尼龙扎带适当放长，使舵机带动牵引器转动的时候，先拉动其他4根手指，到一定角度时拇指才被牵引。从下图中可以看出，右侧（拇指侧）的尼龙扎带明显留长了一些。

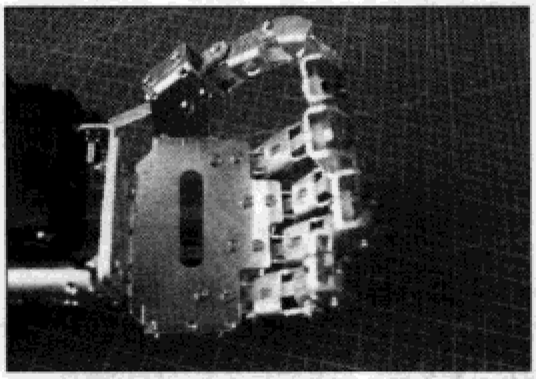


8 装配完毕的机器手。

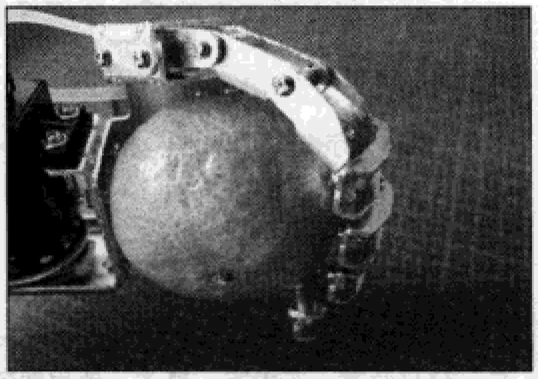




9 手指半合拢的形态。



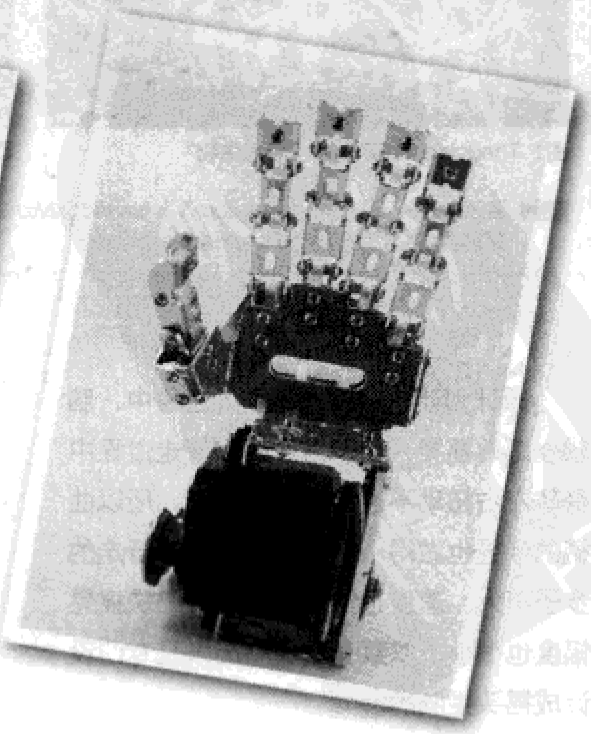
10 试着抓握起一只桔子。



演示视频：http://v.youku.com/v_show/id_XMzM5NTUyNjgw.html

项目总结

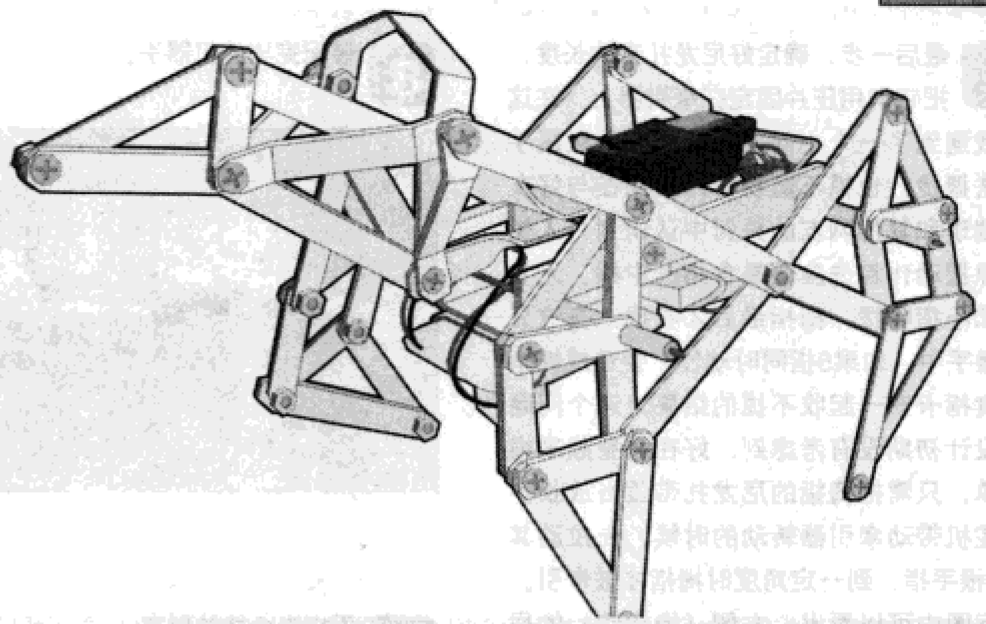
作为我制作的第一只机器手，它的试验意义要更多一些，可以完成抓和握的动作，但对所握之物并无感觉，只是不加区别地抓握而已。虽然这个作品的设计比较简单，功能也很幼稚，却是我在人形机器人的制作道路上所迈出的第一步。在以后的制作中，我可能会试着给它添加上手腕、手臂，甚至整个身体，还可能设计功能更完善的机器手，而它将作为一个有历史意义的纪念品摆在我的书架上，起码外观看起来还不赖，哈哈。



◇pvcbot ◇插画：刘少冉

PVC-Robot 24号 漫步者

步履机器马



本项目是一个结构与Theo Jansen的海滩风动机器怪物类似的机器人，不过从纯步履的腿部结构，扩展到了包括脖子和头部在内的整个躯体结构，整体外形上有点像一匹马。由于这是一匹慢悠悠散步的马，所以笔者又把它称为“漫步者”。

演示视频：http://v.youku.com/v_show/id_XMzE2ODY3MDg4.html

Theo Jansen与他的“海滩生物”

有“当代达芬奇”之称的Theo Jansen是一位科学家、艺术家、鬼才。他用塑料管和电脑程序设计了一系列极复杂且精巧的，可以依靠风能行走的“海滩生物”（Strandbeests）。海滩上的多足步履怪兽拥有无数条腿，但其实每条腿的结构都是一样的，行走起来拥有壮观的场面和震撼的视觉效果，充满了复杂的机械美感。

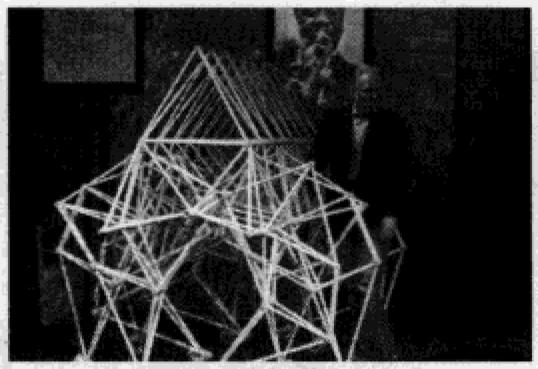


图1 Theo Jansen与他的“海滩生物”

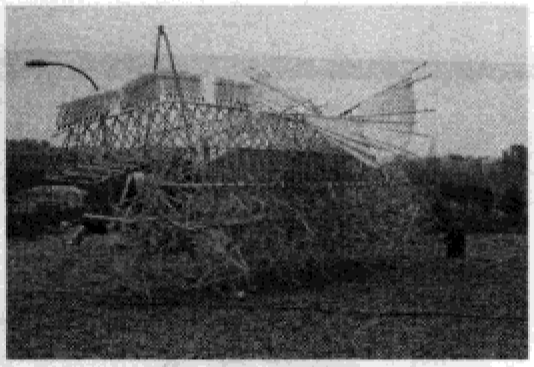


图2 “海滩生物”依靠风能在沙滩上行走

演示视频：http://v.youku.com/v_show/id_XMzA2NDI4MDc2.html
更多资料：http://www.strandbeest.com

原计划让机械马在漫步的过程中，脑袋也跟着摇晃，但是为了确保行走过程中身体左右扭动不过大而影响平衡，所以曲柄的半径也做得小了点，直接导致行走的步子不大，速度也慢了点，而且脑袋摇晃幅度也很小，以致有点看不出来是专门设计成摇头晃脑的。

为了提高行走的速度，特意把微能锂电池由一片增加为两片，让减速电机的转速加快，但是减速箱的减速比较大以及迈得步子较小等原因，行走速度并没有因此而提升太多，各位朋友们在具体制作时，可以自己选择究竟是用一片还是两片锂电池。

基本原理

1. 运动方式

机器马整体的运动方式与上期介绍的PVC-Robot 14号机器狗等4足类机器人类似，具体步态的分解如图3所示，同一时间保证有一组两条腿着地以保持身体的平衡，并不断往前进。如果前进的速度很慢，其中一组静止着地的两条腿是无法保持整个身体的平衡的，我们必须还要让第三条腿也着地，利用三点确定一个平面的原理保持平衡。

2. 驱动机理

机器马在动力传动结构上也与PVC-Robot 14号机器狗类似，使用了摆动曲柄滑块机构连杆来把减速电机的转动变为驱

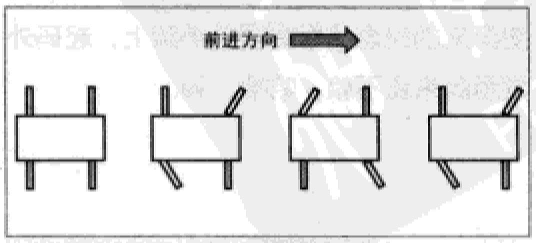


图3 4足机器人行走步态分解

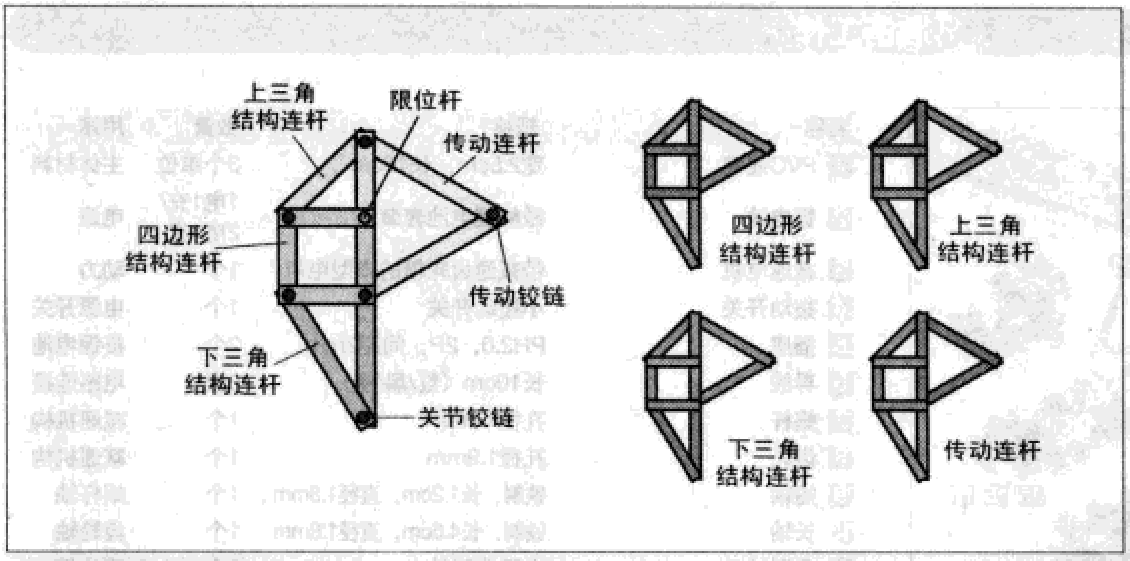


图4 腿部多连杆复合结构

动腿部迈步的摆动运动。它的腿部则是Theo Jansen所创造出来的经典多连杆复合结构，如图4所示。

多连杆复合机构主要包括4个部分：

（1）四边形结构连杆：4 根连杆通过关节铰链连接在一起组成一个四边形，四边形是不稳定的结构，即该结构可以在矩形、平行四边形之间变化，随着腿部关节角度的变化，四边形连杆的结构也会不断变化。

（2）上三角结构连杆：上三角结构的两根连杆以及四边形结构顶上的连杆，通过关节铰链连接在一起，组成一个三角形，三角形是稳定的结构，则该结构的形状是固定不变的。

（3）下三角结构连杆：下三角结构的两根连杆以及四边形结构顶部的连杆，通过关节铰链连接在一起，组成一个三角形，该结构的形状也是固定不变的。

（4）传动连杆：两根传动连杆，加上上三角结构中竖直的一根连杆，以及四边形结构中内侧竖直的一根连杆，总共 4 根连杆，通过铰链连接在一起，组成一个四边形，该结构可以在任意四边形中变化。

传动连杆上的传动铰链是直接接在曲柄上的，相当于传动铰链固定在一个圆形的离心轴上，围绕圆心转动。在曲柄转动的过程中，就会通过传动连杆带动整个多连杆复合结构联动，实现自然顺畅的步履运动，如图5所示。

机器马的整体连杆结构如图6所示。

3. 电路原理

本项目的重点在于机械结构，电路则是采用最简单的电路，就是直接用电池连接一个电机，中间通过一个拨动开关来控制电路的通断。

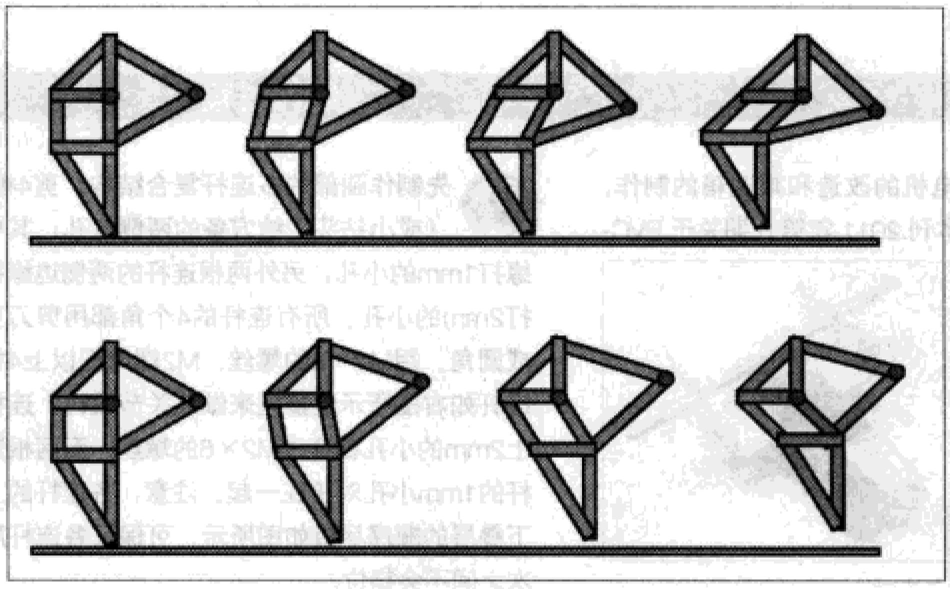


图5 多连杆复合结构的联动

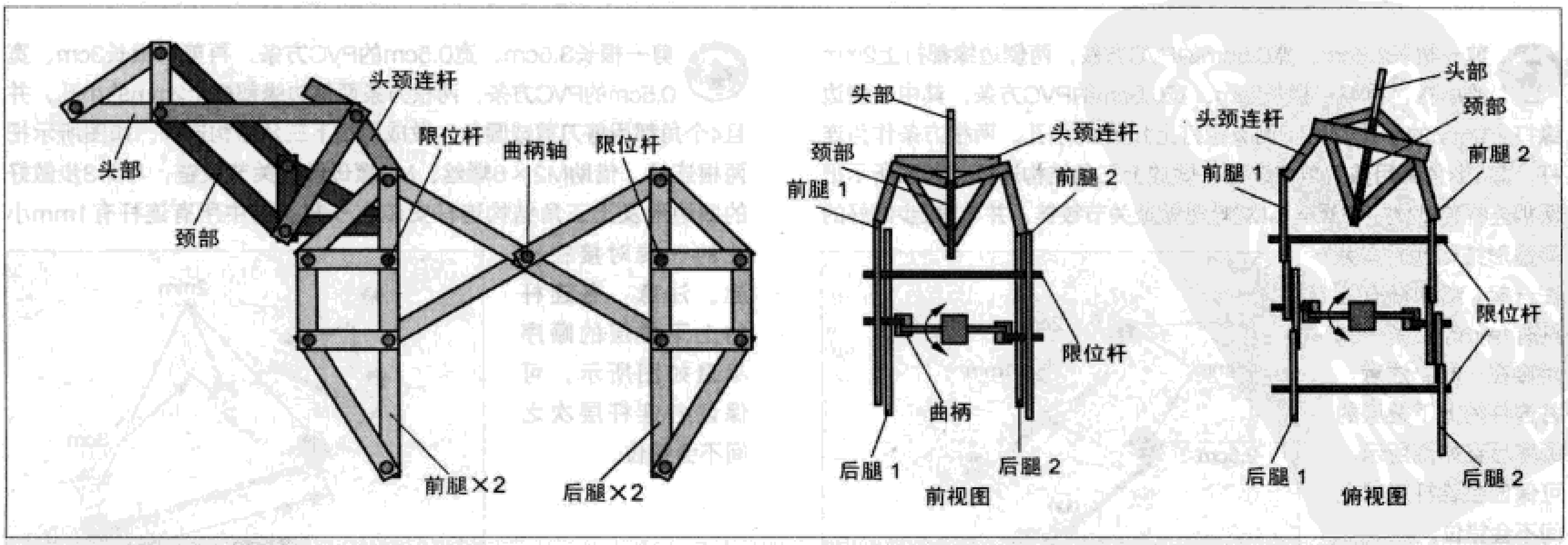
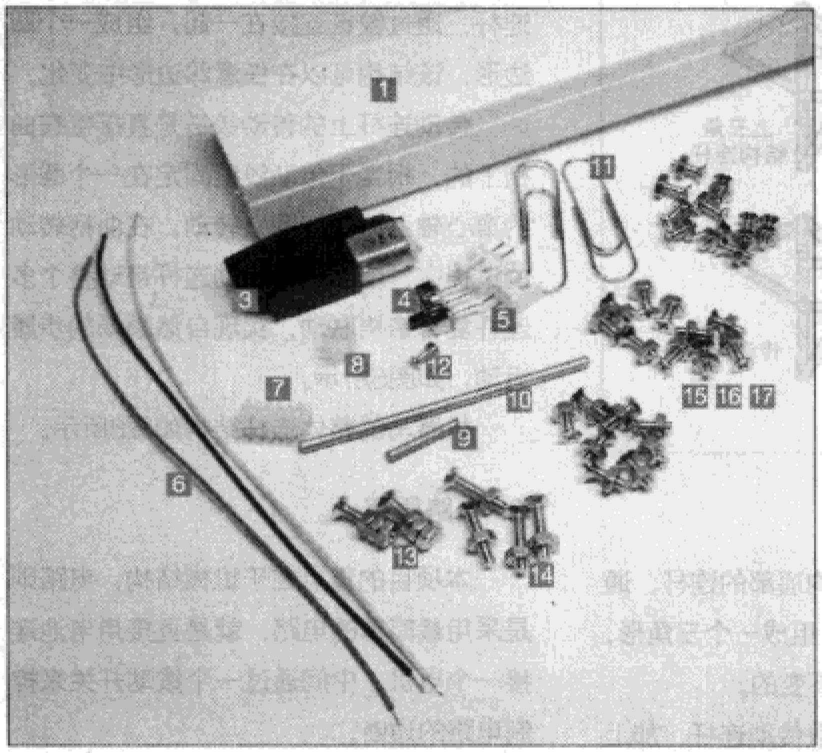


图6 PVC-Robot 24号连杆结构

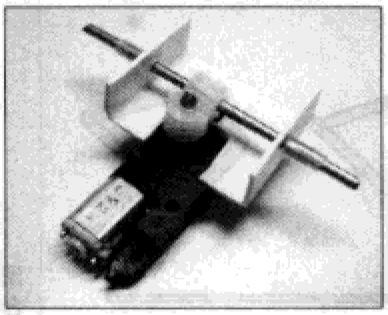
准备工作



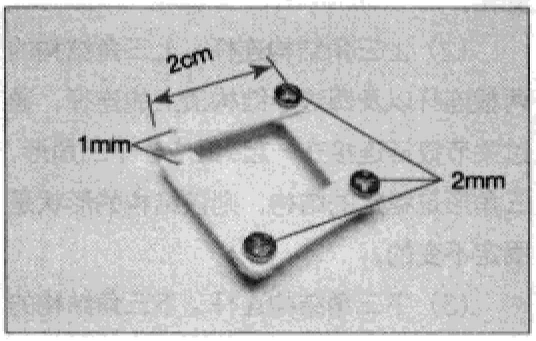
名称	规格	数量	用途
1 PVC线槽	宽2.5cm，长15cm	3个单位	主体材料
2 锂电池	微能锂电池套装	1电1充/2电1充	电源
3 减速电机	带减速齿轮箱的微型电机	1个	动力
4 拨动开关	小拨动开关	1个	电源开关
5 插座	PH2.0，2P，间距2mm	2个	接锂电池
6 导线	长10cm（红/黑/黄）	3根	电路连接
7 蜗杆	孔径1.9mm	1个	减速机构
8 齿轮	孔径1.9mm	1个	减速机构
9 短轴	铁制，长1.2cm，直径1.8mm	1个	蜗杆轴
10 长轴	铁制，长4.5cm，直径1.8mm	1个	齿轮轴
11 曲别针	文具曲别针	2个	限位杆
12 M1.2×5螺丝/M1.2螺母	直径1.2mm，长5mm	1对	固定电机
13 M2×10螺丝/M2螺母	直径2mm，长10mm	2对	曲柄铰链
14 M2×10螺丝/M2螺母	直径2mm，长10mm	4对	头部关节
15 M2×6螺丝/M2螺母	直径2mm，长6mm	4对	固定支架
16 M2×6螺丝/M2螺母	直径2mm，长6mm	4对	头部关节
17 M2×6螺丝/M2螺母	直径2mm，长6mm	20对	腿部关节
18 M2螺母	直径2mm	4个	固定曲柄

制作过程

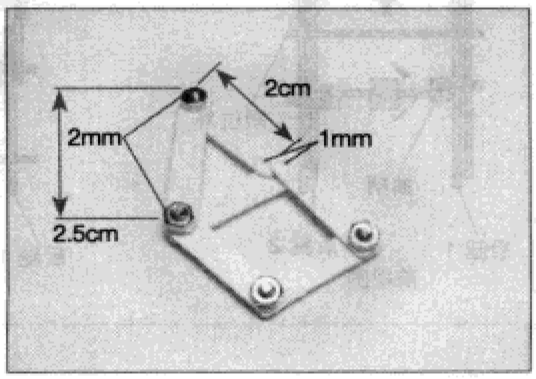
1 对减速电机的改造和减速箱的制作，请参考本刊 2011 年第 8 期关于 PVC-Robot 15 号的介绍。



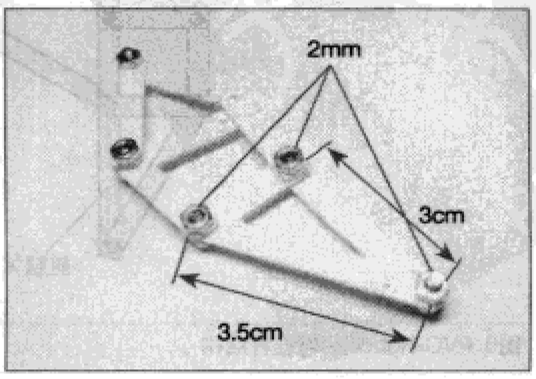
2 先制作腿部的多连杆复合结构。剪4根长2cm、宽0.5cm的PVC方条作为连杆。用锥子（或小钻头）给方条的两侧打孔：其中两根连杆的一侧边缘打2mm的小孔，另一侧边缘打1mm的小孔；另外两根连杆的两侧边缘都打2mm的小孔。所有连杆的4个角都用剪刀剪成圆角。用M2×6的螺丝、M2螺母把以上4根连杆如右图所示连接起来做成关节铰链，连杆上2mm的小孔都穿过M2×6的螺丝，而两根连杆的1mm小孔对接在一起。注意：各连杆的上下叠层的顺序尽量如图所示，可保证各连杆层次之间不会错位。



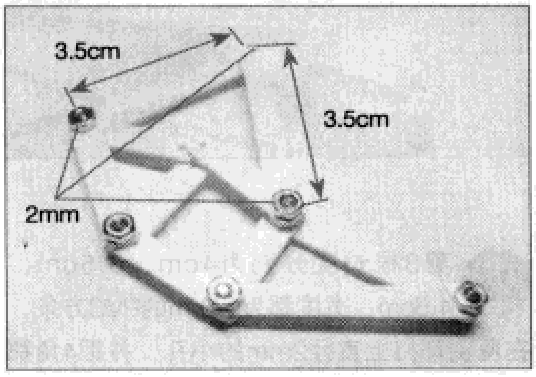
3 剪一根长2.5cm、宽0.5cm的PVC方条，两侧边缘都打上2mm的小孔，再剪一根长2cm、宽0.5cm的PVC方条，其中一侧边缘打上2mm的小孔，另一侧边缘打上1mm的小孔。两根方条作为连杆，其4个角都用剪刀剪成圆角，做成上三角结构连杆。如图所示把两根连杆借助M2×6螺丝、M2螺母做成关节铰链，并与第2步做好的四边形结构连杆安装在一起。其中所有连杆有1mm小孔的一端对接在一起。注意：各连杆的上下叠层的顺序尽量如图所示，可保证各连杆层次之间不会错位。



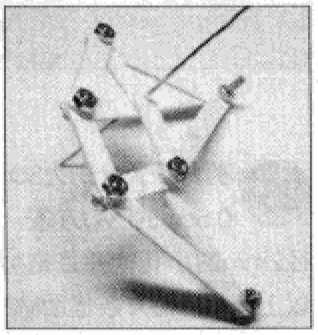
4 剪一根长3.5cm、宽0.5cm的PVC方条，再剪一根长3cm、宽0.5cm的PVC方条，两根方条两侧边缘都打上2mm的小孔，并且4个角都用剪刀剪成圆角，做成两根下三角结构连杆。如图所示把两根连杆，借助M2×6螺丝、M2螺母做成关节铰链，与第3步做好的四边形及上三角结构连杆安装在一起。其中所有连杆有1mm小孔的一端对接在一起。注意：各连杆的上下叠层的顺序尽量如图所示，可保证各连杆层次之间不会错位。



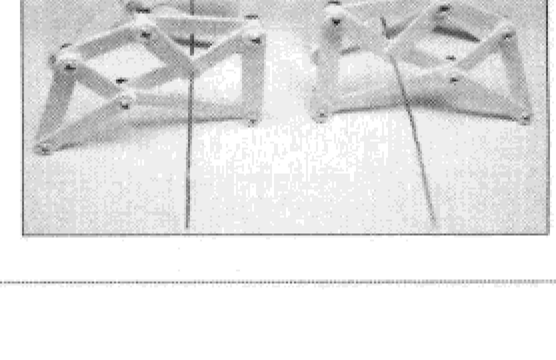
5 剪两根长3.5cm、宽0.5cm的PVC方条，两根方条两侧边缘各打一个2mm小孔，并将4个角都用剪刀剪成圆角，做成两根传动连杆。如图所示把两根传动连杆借助M2×6螺丝、M2螺母做成关节铰链，并与第4步做好的四边形、上下三角结构连杆安装在一起。注意：各连杆的上下叠层的顺序尽量按图所示，可保证各连杆层次之间不会错位。



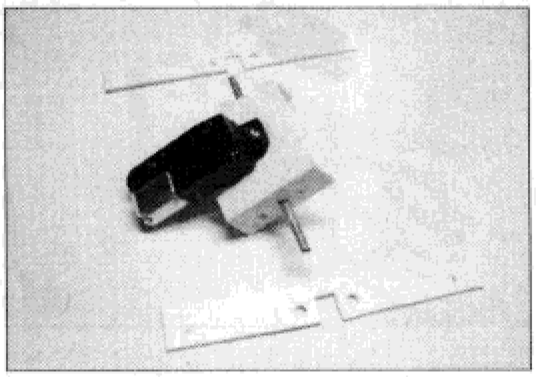
6 把一根曲别针拉直作为限位杆，把上三角结构与四边形结构的几根 1mm 小孔对接的连杆串在一起，再把 M2×10 螺丝、M2 螺母穿过两根传动连杆的 2mm 小孔，暂时作为曲柄轴。这时候可以测试一下整个结构的灵活性，一只手握住串在四边形与上三角结构之间的限位杆固定不动，另一只手握住串在传动连杆上的曲柄轴（M2×10 螺丝）并摇动作圆周运动，可以看到整个腿部结构实现顺畅自然的步履动作。



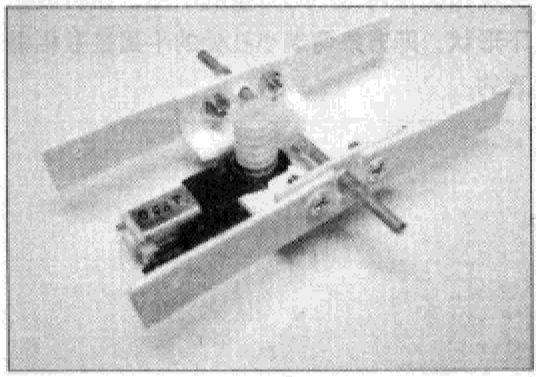
7 以上是其中一条腿的多连杆复合机构的制作过程。重复之前的步骤，完成共4条腿的结构，两组腿是对称的，分别串在两根限位杆上。



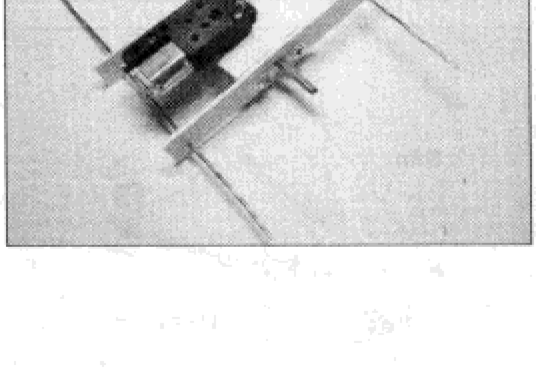
8 剪两片长6cm、宽1cm的PVC方条，并在中央3cm处各剪一个宽0.5cm、深0.6cm左右的槽，作为外壳侧板。在两个外壳侧板的两侧，距边缘0.5cm的中间位置再各打一个1mm的小孔。把两个外壳侧板装到减速箱两侧，其中减速箱的两侧输出轴正好套到外壳侧板的凹槽上。然后对准两个外壳侧板与减速箱侧边，在凹槽两侧各打一个2mm的小孔。



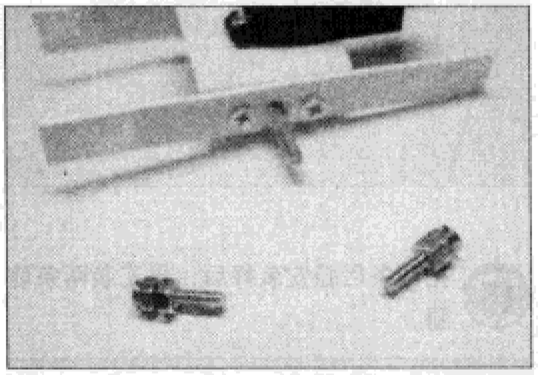
9 把外壳侧板与减速箱用M2×6螺丝、M2螺母固定起来。



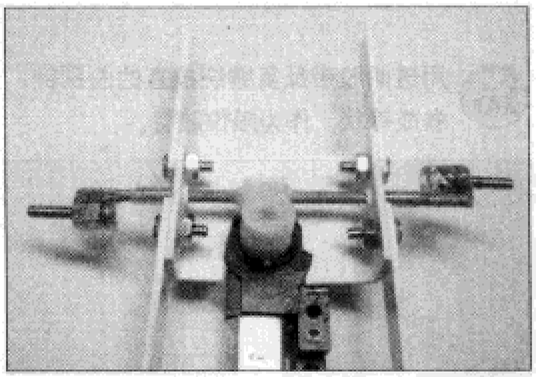
10 把拉直作为限位杆的两根曲别针，分别穿过两侧的外壳侧板小孔，看限位杆是否平行对齐，假如不够端正，还需要重新调整限位杆的小孔位置。



11 本项目与之前所有项目不同，要求曲柄的长度（即曲柄半径）尽可能小，所以没有用PVC制作曲柄，而是直接用曲柄轴紧挨着减速箱输出轴固定起来。取两颗M2×10螺丝，分别套上两颗M2的螺母，并且把螺母都扭紧，作为曲柄轴。

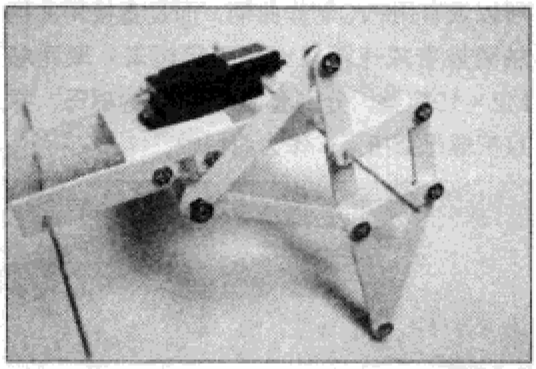


12 把曲柄轴直接挨着减速箱的输出轴，用透明胶带绑扎在一起，并且滴上502胶水将两者固定起来。安装另一侧曲柄轴时，要求方向正好与原来的一侧相反，即一侧在减速箱输出轴的顶端时，则另一侧就在底端。

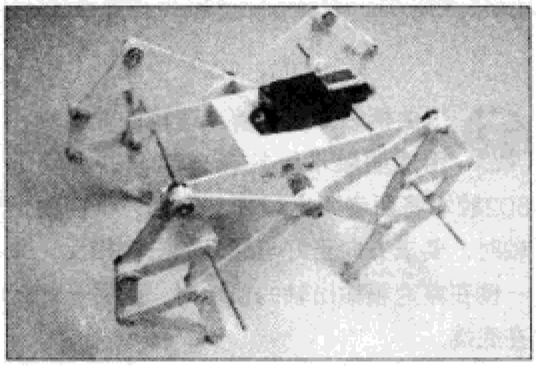


13 给曲柄轴上套上一个塑料垫片。

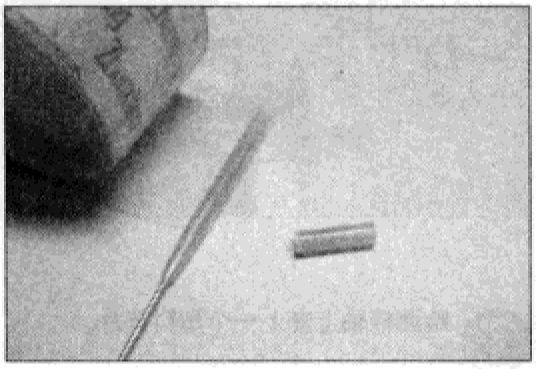
⑭ 把一条后腿套到限位杆上，并把传动连杆套到曲柄轴上。



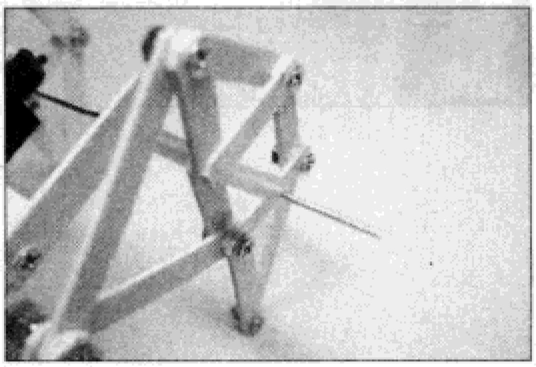
⑮ 把两条后腿安装好后，再安装两条前腿。



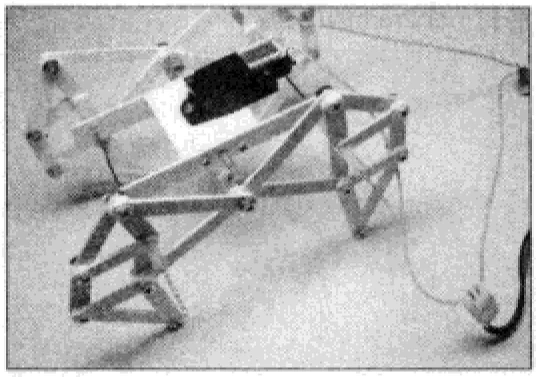
⑯ 用透明胶带反复缠绕拉直的曲别针，卷成管状，作为限位胶管。



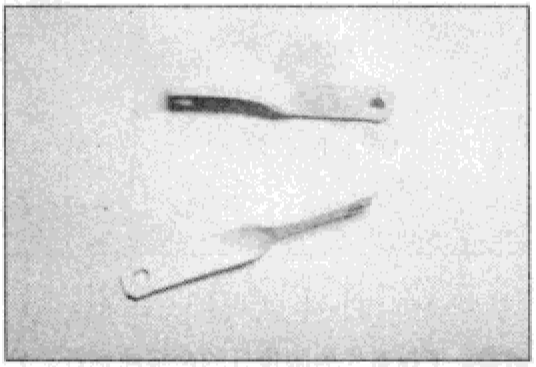
⑰ 在限位杆与腿部之间套上长度适合的胶管，确保腿部结构装到曲柄轴上后，能够与躯干外壳平行。 再在限位杆外侧也套上胶管，稍微加紧腿部结构，让其不至于在限位杆上摆动过大或脱离限位杆。



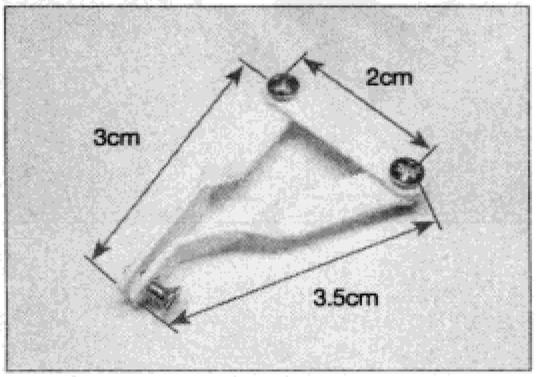
⑱ 把腿部的传动连杆套到曲柄轴上后，在曲柄轴外侧再拧上固定螺母。这时可以尝试给减速电机的两根电极接上导线，再连接电源，看整体结构驱动是否顺畅。假如整体结构能够比较顺畅地活动，可以把曲柄轴外侧的螺母以少量502胶水固定起来。然后限位杆外侧的胶管也涂上少量502胶水固定起来。



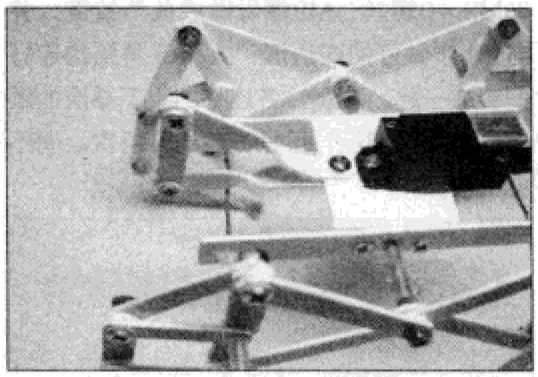
⑲ 分别剪两根长3.5cm和3cm，宽都为0.5cm的PVC方条，然后在两侧都打上2mm的小孔，并且把4角都剪成圆角。用尖嘴钳夹住两根PVC方条的中部，扭折成如下形状，即方条两端小孔处的平面是互相垂直的。



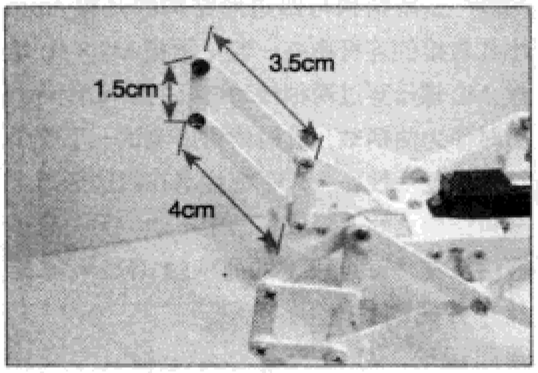
⑳ 再剪一根长2cm、宽0.5cm左右的PVC方条，并且在两侧边缘都打上2mm的小孔，并且把4角都剪成圆角。把以上3根PVC方条如下图所示用M2×6螺丝、M2螺母组装起来，做成颈部底座结构。



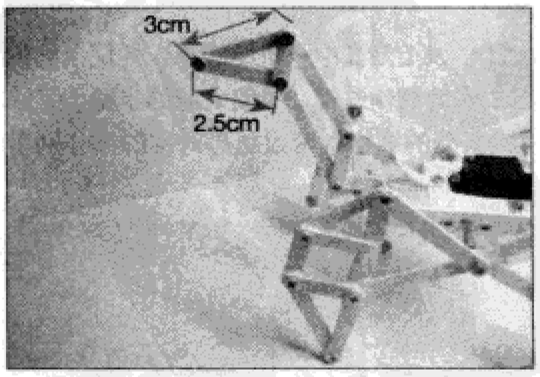
㉑ 在减速箱外壳顶部前端打1个直径2mm的小孔，把颈部底座结构安装到减速箱外壳上，并用M2×6螺丝、M2螺母固定起来。



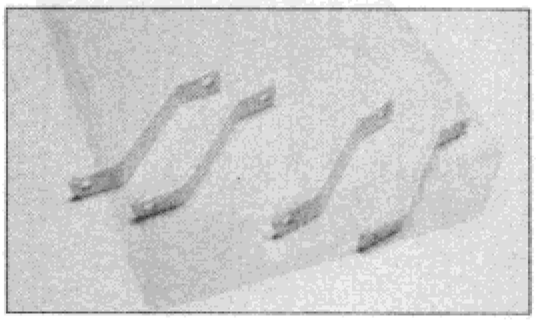
㉒ 剪3根长度分别为4cm、3.5cm、1.5cm，宽度都为0.5cm的PVC方条，在两侧都打上直径2mm的小孔，并把4角都剪成圆角。把以上3根PVC方条借助M2×6螺丝、M2螺母固定到颈部底座上，完成整个颈部的安装。



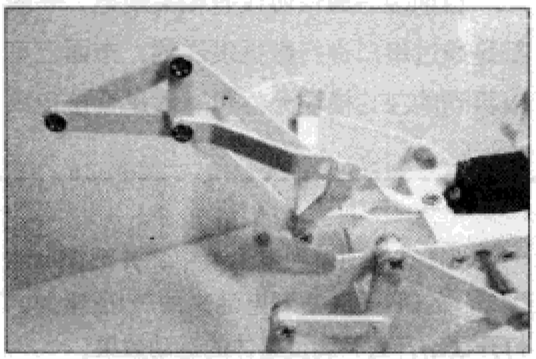
㉓ 剪两根长分别为3cm、2.5cm，宽都为0.5cm的PVC方条，两个边缘都打上直径2mm的小孔，并且把4角都剪成圆角。把以上两根PVC方条借助M2×6螺丝、M2螺母固定到颈部结构上，做成头部结构。



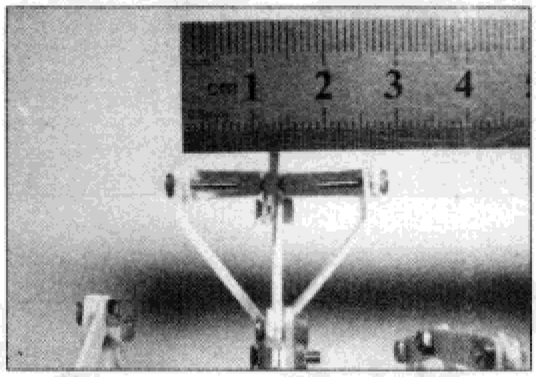
24 再剪4根长3cm、宽0.5cm的PVC方条，在两侧边缘都打上直径2mm的小孔，4角也都剪成圆角，并用尖嘴钳折成如下形状的头部与颈部骨架。



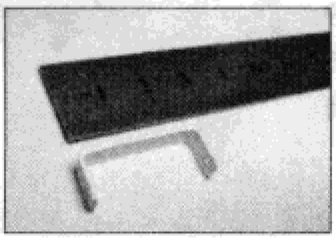
25 把以上4根头部与颈部骨架安装到头部与颈部的结构上，即先拆下原来各关节的M2×6螺丝、M2螺母，套上这些连杆后，再把螺丝、螺母装起来。身体同侧两根骨架，要对接在一起（即下图中还没有上螺丝/螺母的部分）。



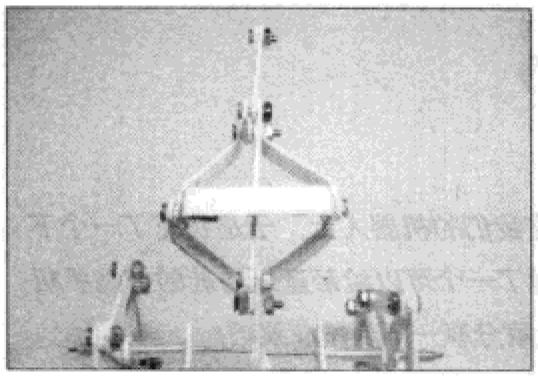
26 把同侧两根骨架的接合部分，套上M2×10螺丝。适当调整各骨架弯折的角度，让两组骨架接合部分之间的距离为2.5cm左右。



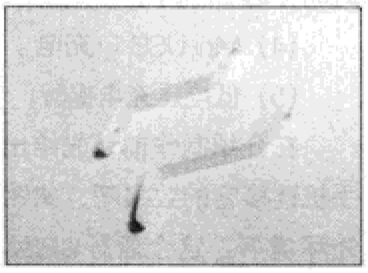
27 剪一根长4.5cm、宽0.5cm左右的PVC方条，用尖嘴钳弯折成如下图形状，其中两侧的距离为2.5cm左右，做成支架。



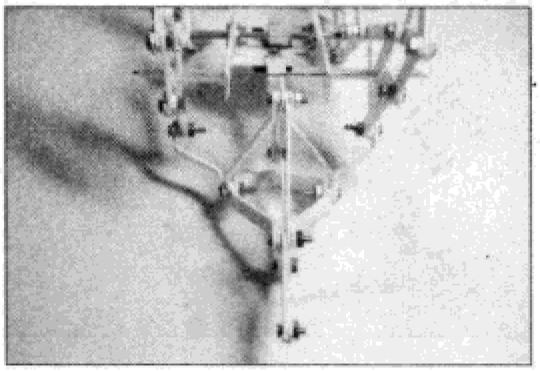
28 把该支架装到前面两组骨架接合部中间，也套到M2×10螺丝上。



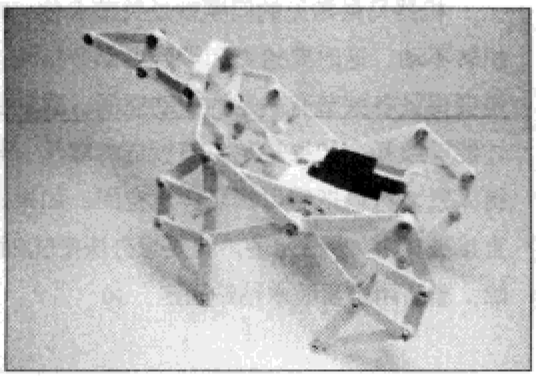
29 剪两根长3cm、宽0.5cm左右的PVC方条，在两侧边缘都打上直径2mm的小孔，4角都剪成圆角。把两根方条借助尖嘴钳折成如下形状，作为头部与腿部间的骨架连杆。



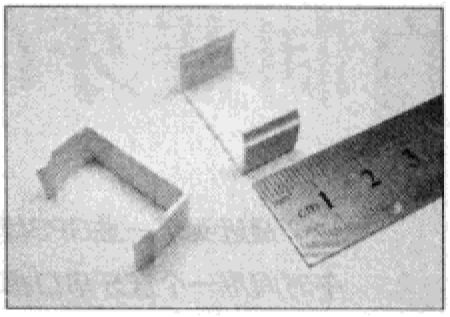
30 把该骨架连杆装到腿部与头颈骨架接合部之间，并把相关的螺丝、螺母都拧上。考虑到叠在一起的PVC厚度比较大，需要把前腿顶部关节铰链、头部底下、颈部与颈部底座下面的M2×6螺丝换成M2×10螺丝。



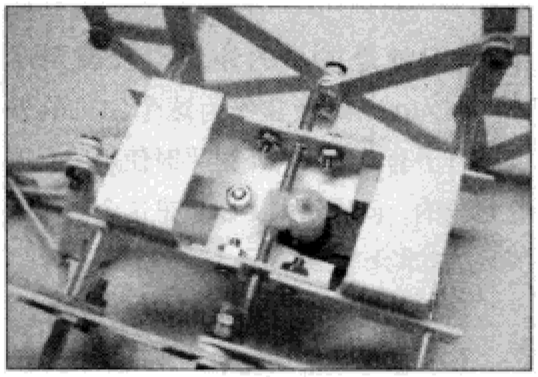
31 整个机械结构的组装至此完成。



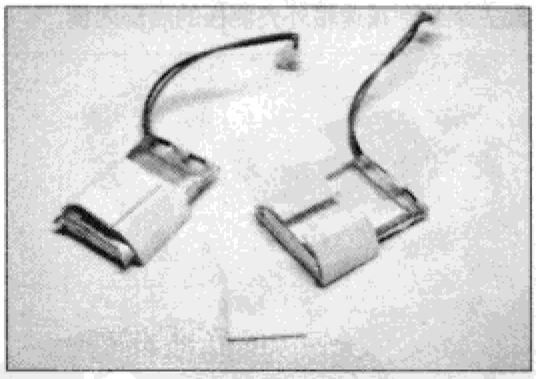
32 选取宽度为2.5cm的PVC线槽的凹槽部分，剪长约1cm的两段，作为支架。



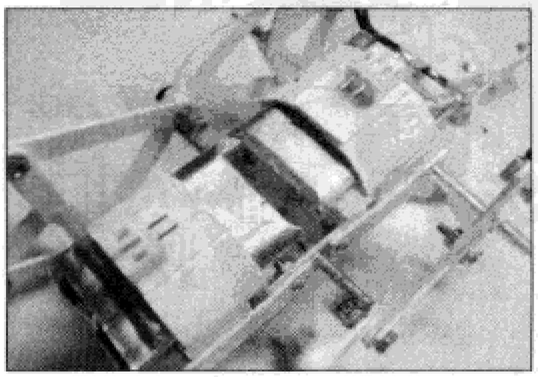
33 把支架装到减速箱底部，用502胶水粘好。



34 选取宽度为2.5cm的PVC线槽的凹槽部分，剪成长约2cm的两段，弯折，把锂电池包在里面，做成电池夹。在电池夹开口处，以502胶水粘一块小PVC方块封好。

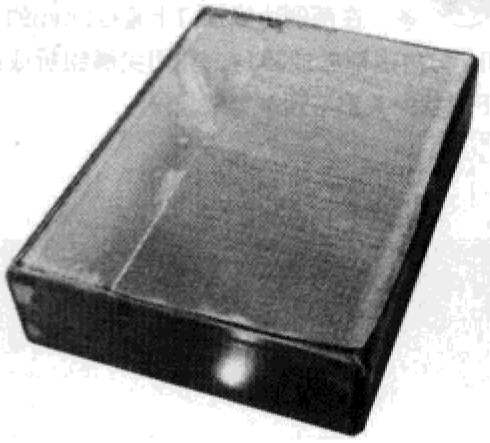


35 把做好的电池夹，借助502胶水固定到支架上。把锂电池装上，把PH插座用502胶水固定在电池夹顶部封口板上。



◇陈士凯

自制蓝牙GPS



最近买了一些GPS模块打算用在我们的机器人上，于是我花了一个下午时间用一个蓝牙串口模块配合，做了一个可以给带蓝牙功能的智能手机使用的蓝牙GPS，效果不错，就和大家分享一下制作成果吧！

题图就是成品的外观，我使用了DVmini磁带盒作为这个GPS的外壳，样子有点山寨，不过平时使用是会放在包里的，问题不大。以下是这个制作所实现的功能和配置情况：

（1）基于SiRF Ⅲ芯片的GPS模块，

（2）蓝牙通信功能，

（3）900mAh锂电池，单次充电工作时间可达7小时，

（4）Mini-USB口充电，

（5）低电压充电提醒。

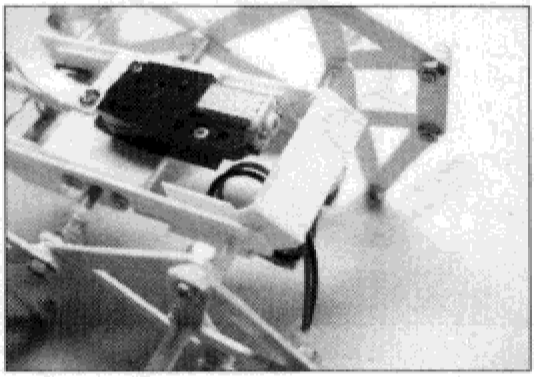
在介绍制作前，先给出我的HTC S1手机连接它的效果吧，如图1所示。在室外环境下，这个蓝牙GPS从通电（冷启动）到完成3D定位，仅需不到20s的时间，性能很不错。

制作原理

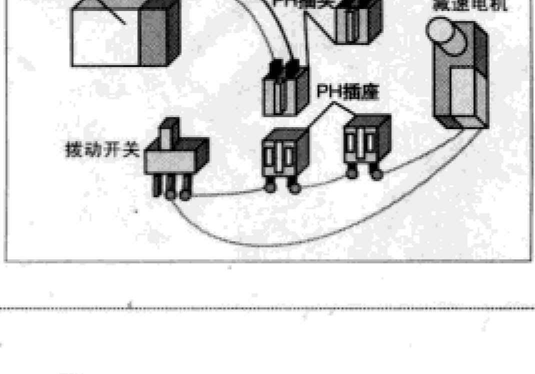
目前GPS通信协议有相关规范，一般都是通过串口进行数据发送的，市面上可以买到的GPS模块元件也基本是直接用串

---

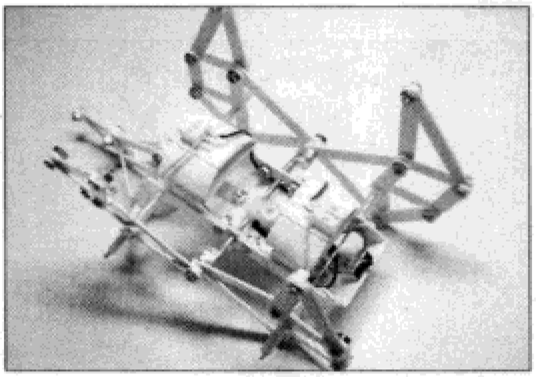
36 选取宽度为2.5cm左右的PVC线槽的凹槽部分，剪长约1cm的一段，把两侧凹槽卡口部分剪掉，作为尾部支架。把尾部支架装到减速箱外壳侧板的后部内侧。



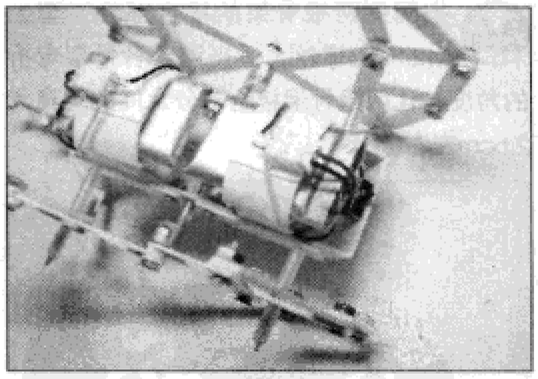
37 按照焊接示意图把电路接好，这是双电池版，也可以只用一块电池。



38 把尾部支架向后下部倾斜，并用502胶水固定起来。将拨动开关蘸上少量502胶水，固定到尾部支架内侧（粘贴一侧可预先用锉刀锉钝）。

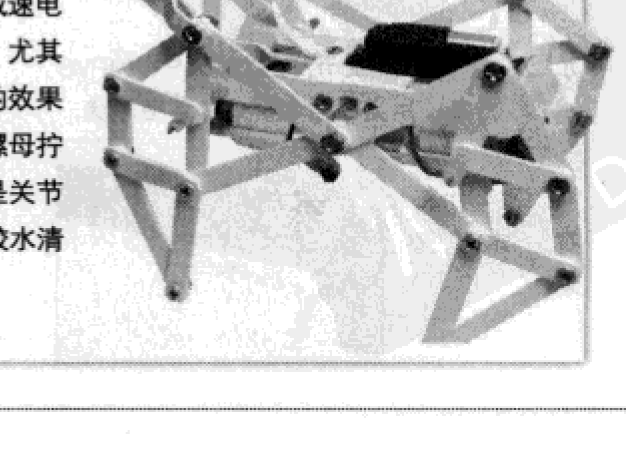


39 把锂电池装到电池夹中，并把锂电池的PH插头插到电池夹的PH插座上。打开拨动开关，测试整体的运动效果。



关节卡住怎么办？

机器马最常见的问题就是关节卡住，减速电机转不动，这时要检查和调整各部分结构，尤其是要保证各关节有一定的松动空间，联动的效果才能够顺畅。如果是某关节铰链的螺丝、螺母拧得太紧，可以把螺母松开一定空间。如果是关节直接被502胶水粘死了，就要想办法把502胶水清除，重新用少量胶水粘贴固定。



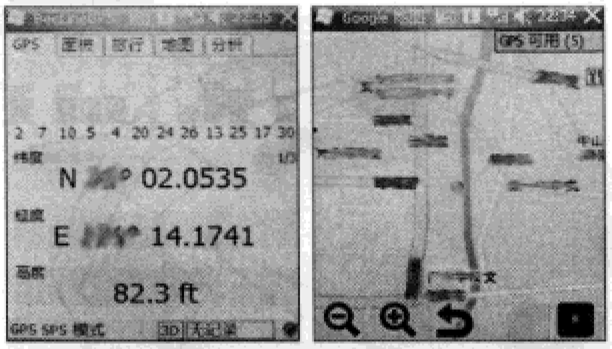


图1 HTC S1手机连接蓝牙GPS的效果

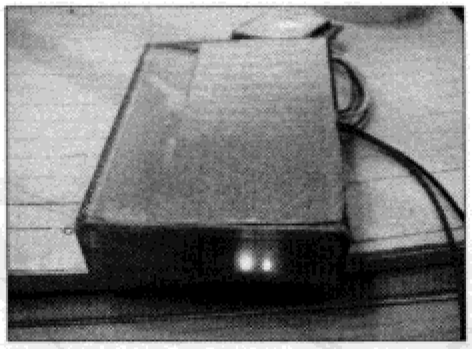


图2 电池电压低于3.3V后，会点亮一个红色LED，提醒该给电池充电了

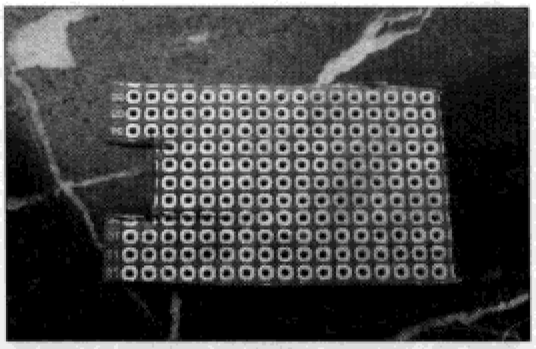


图4 在万用版上挖出凹槽部分，放置蓝牙模块的天线

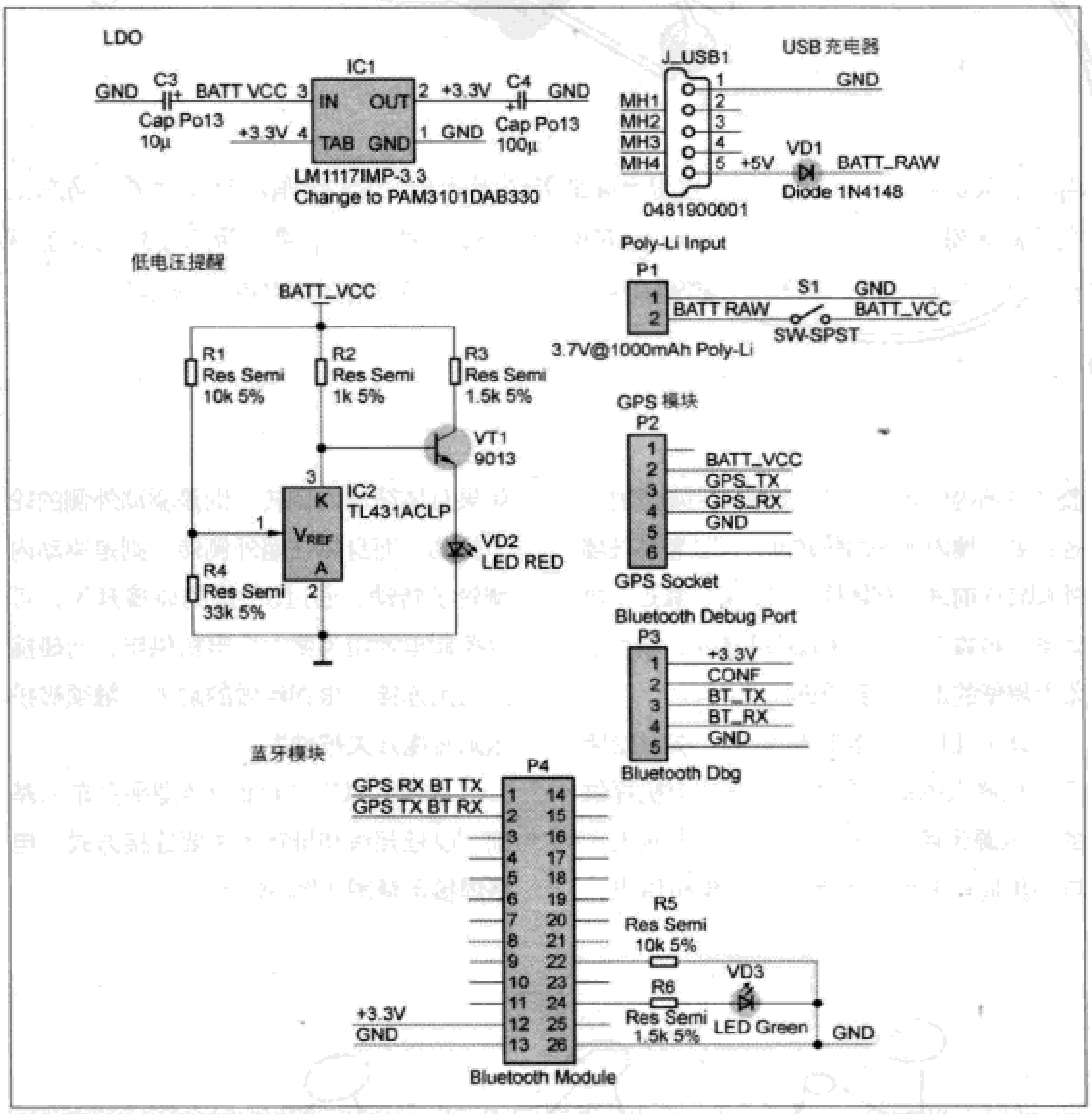


图3 蓝牙GPS电路原理图

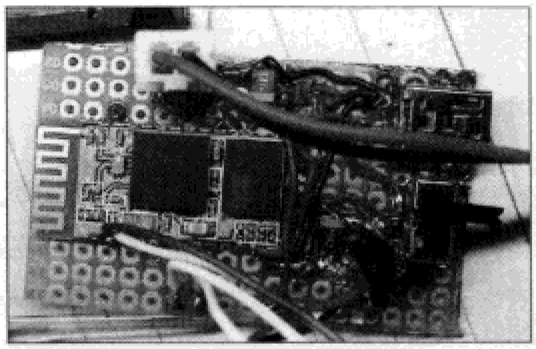


图5 焊接好的成品电路

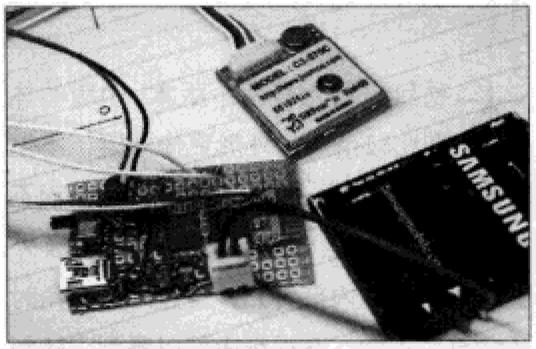


图6 所有组件连接就绪

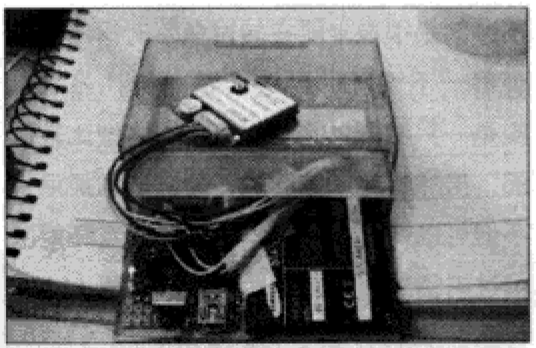


图7 把电路放入磁带盒

口输出，所以只要和市面上可以买到的蓝牙转串口模块简单相连，即可得到一个蓝牙GPS了。

需要做的额外工作是如何给GPS和蓝牙供电、充电。一般蓝牙设备需要3.3V的稳压供电，所以要有LDO元件，这里要选择专供电池设备使用的低压差的LDO，我用的是PAM3101系列的LDO。

另外，为了防止锂电池过放电导致报废，这里设计了一个低电压提醒电路。我使用TL431基准源对当前电池电压比较，如果低于3.3V时，会点亮一个红色LED，提醒该给电池充电了，如图2所示。

对于锂电池充电部分，这里采用了偷懒的办法，从USB口取电，再经过1N4148二极管的正向压降后，大致可以得到4.2V左右的电压给锂电池充电，如果实际电压不幸高于4.2V，就得依靠电池内部的保护电路动作了……这个是比较危险的设计，需要有人看守着进行充电。

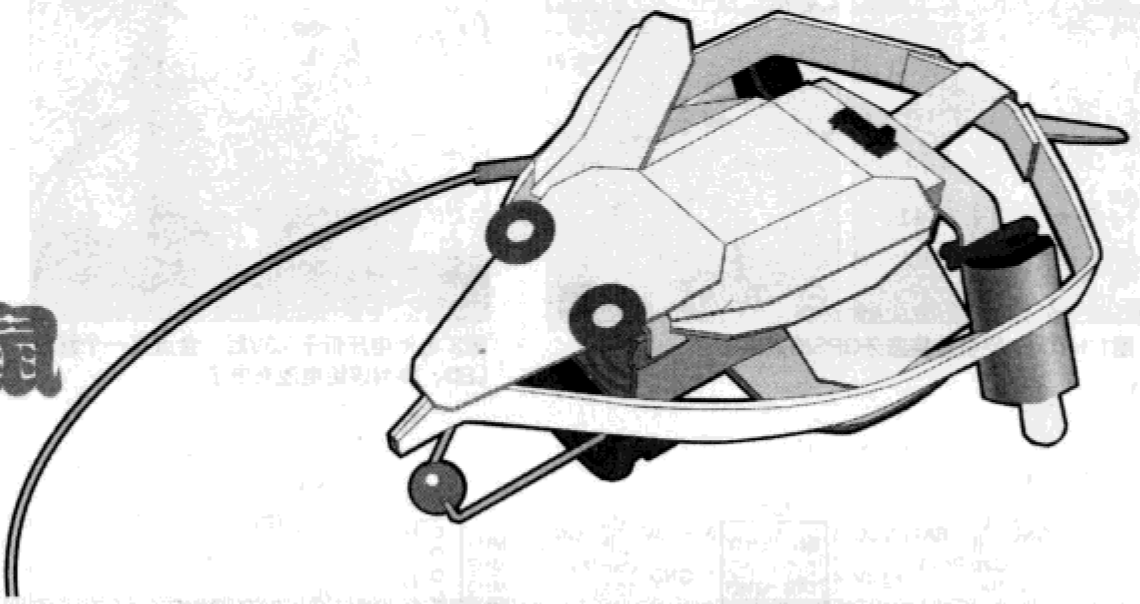
整个电路的原理图如图3所示，很简单，不做过多解释。

我尽可能地使用了贴片元件来制作，以保证较小的尺寸，好放进这个磁带盒中。图4～图7所示是制作过程中的几个步骤，供大家参考。

◇pvcbot ◇插画：刘少冉

PVC-Robot 25号：巡边小车

沿墙走的老鼠



这次给大家介绍一个既简单又有趣的巡边机器人，它可以自主地沿着墙壁的边缘行走，这和老鼠的行为相像，再加上专门的造型设计，俨然是一只在黑暗中偷偷摸摸行动的狡猾老鼠。要实现类似沿墙走的功能，通常需要用到红外线或者超声波之类较为高级的传感器，还要加上复杂的控制电路，而本项目却是简单到仅有几个开关就能取得同样的效果。

演示视频：http://v.youku.com/v_show/id_XMzUwMzAwMzc2.html

本项目机器人有两个版本，A版的体型比较苗条，外形更像老鼠，不过受到结构的限制，只能过外侧的拐角而不能过内侧的拐角（即可以围绕方形盒子外侧跑而不能在内部转），且过外侧拐角时还会有点迟钝。在视频中可以看到它转到4个角的时候会有一个缓慢的转弯过程，不过倒是很像老鼠在转过角落时探出头先观察一下情况，再继续跑一样，名副其实是一只狡猾的老鼠。B版的体型比较圆润，虽然看起来胖胖的，但它非常灵活，不但可以快速过外侧的拐角，而且还能顺畅过内侧的拐角，跑起来非常迅速。

基本原理

本项目采用的是与PVC-Robot 1号“疯狂的小强”类似的3轮传动结构，不过是反向应用，即两个主动轮作为后轮，一个传动轮作为前轮，相当于倒着开的3轮小车，而左右拐弯的原理则基本不变。

如图1所示，钢丝做成的触须安装在挨着墙的一侧，机器人通过触须感应是否挨着墙壁，控制两个后轮轮流转动前进：触须远离墙时，控制处于墙外侧的后轮转动，即让整体往墙内侧转向前进，触须碰到墙壁时，控制处于墙内侧的后轮转动，即让整体往墙外侧转向前进。整体处于“远离、靠近、再远离、再靠近……”的动态平衡中，就可以沿着墙壁的走向一直前进。

本项目的电路非常简单，如图2所示。机器人的动力是由两个直流电机提供的，电源为两节7号电池组成的电池组，电池组同一时间只为其中一个电机供电。如果身体往墙内侧转，则是驱动外侧的轮子转动，而身体往墙外侧转，则是驱动内侧轮子转动。通过3引脚的碰撞开关，可以控制电池组为哪一个电机供电，而碰撞开关则连接一根钢丝做的触须，触须被挤压则碰撞开关被触发。

本项目以PVC-Robot A型平台车为基础，以杜邦线和排针为主要连接方式，电路焊接示意图如图3所示。

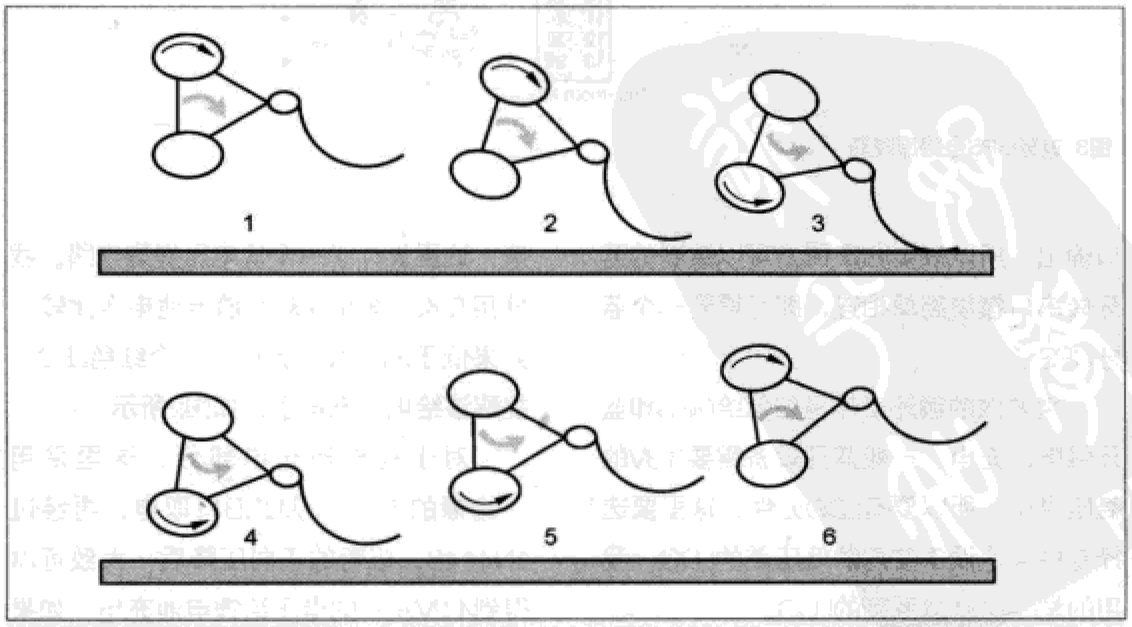


图1 PVC-Robot 25号控制原理

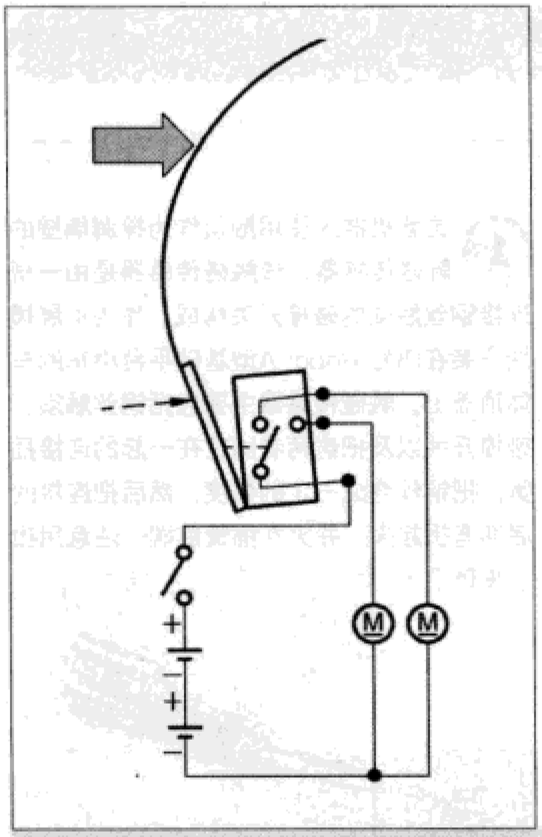


图2 PVC-Robot 25号电路原理图

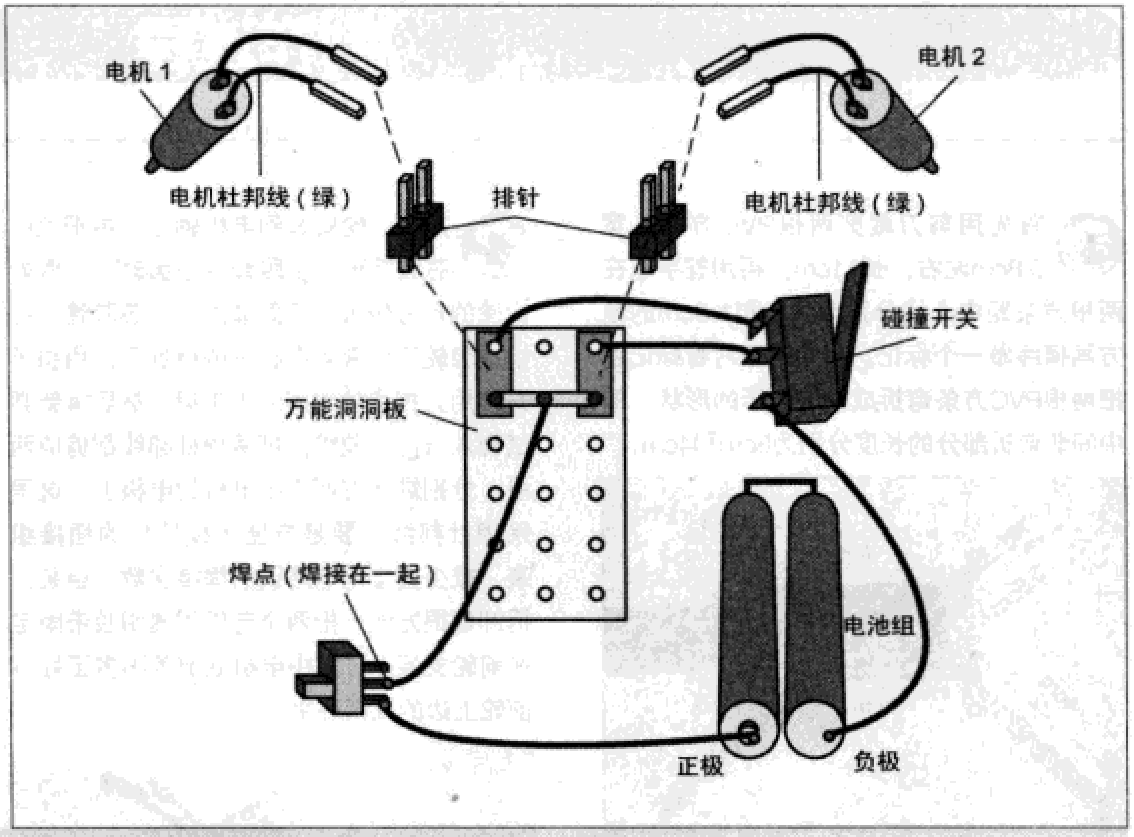
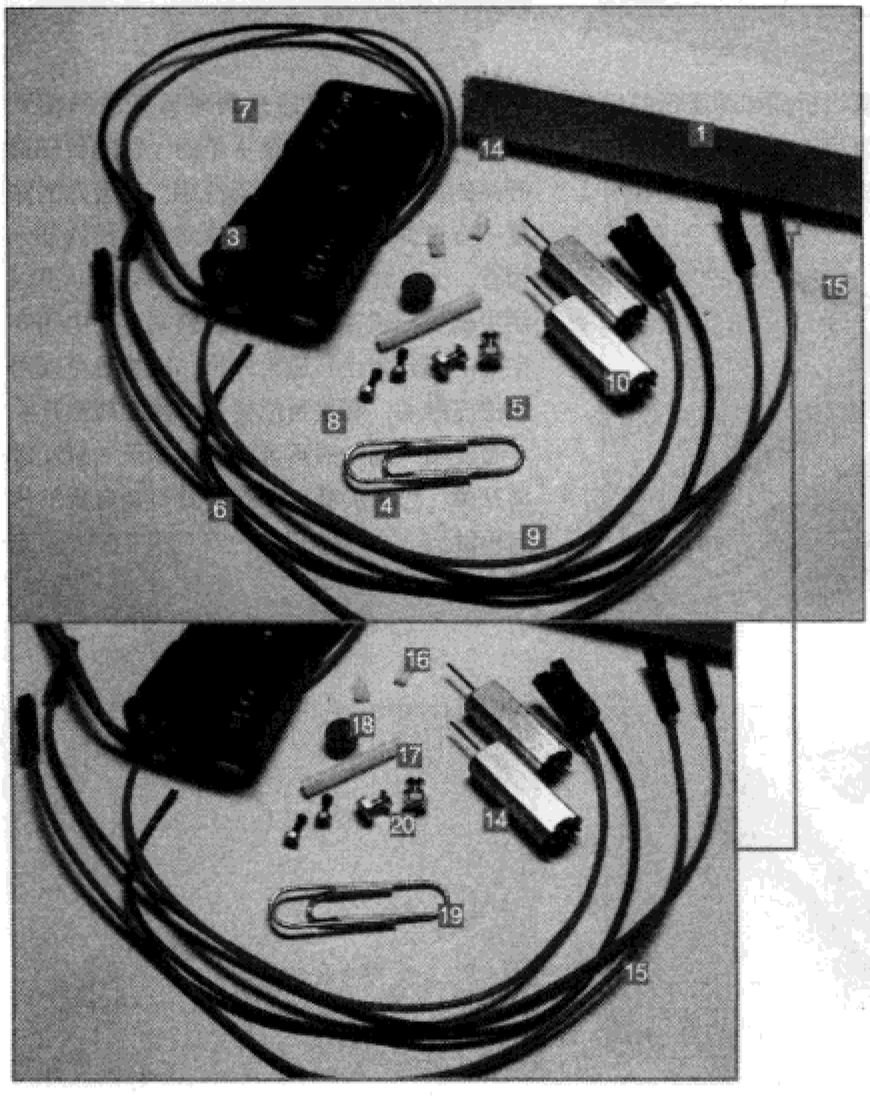


图3 PVC-Robot 25号电路焊接示意图

准备工作

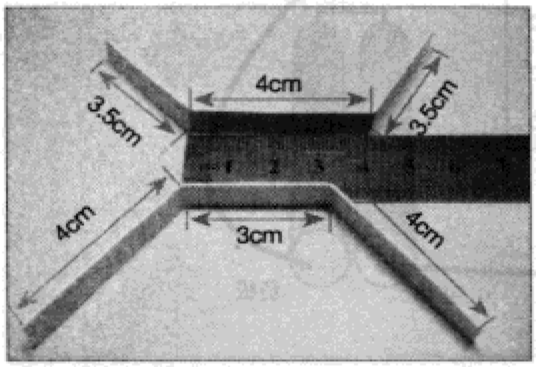


名称	规格	数量	用途
1 PVC线槽	宽2.5cm，长15cm	2个单位	主体材料
2 干电池/充电电池	7号	2节	电源
3 电池盒	7号电池盒	1个	电源
4 碰撞开关	行程开关	1个	障碍探测
5 拔动开关	小拔动开关	1个	电源开关
6 电路板	电路实验板/万用板/洞洞板	1块	
7 电路导线	红/黑	2根	电路连接
8 排针	2针	2个	连接电机
9 钢丝	不锈钢丝	1段	探测触须
10 接线端子	插簧接线端子	1个	固定触须
11 M3垫片	孔径3mm	2个	装饰眼睛
12 M2×6螺丝/螺母	直径2mm，长6mm，平头	A版2对/B版3对	固定电池盒和支架
13 M2×10螺丝/螺母	直径2mm，长10mm	A版1对/B版2对	固定轻触开关
14 小电机	1.5V，轴径1mm	2个	动力
15 杜邦线	绿	4根	电机导线
16 小齿轮	内径0.95mm	2个	前轮“车轮”
17 胶管	自行车气门芯	1段	前轮“外胎”
18 小圆珠	塑料圆珠	1个	后轮
19 曲别针	标准钢丝文具	1个	后轮支架
20 M1.2×5螺丝/螺母	直径1.2mm，长5mm	2对	固定PVC材料

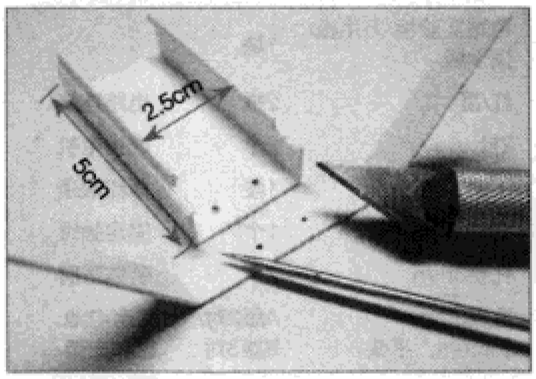
制作过程

1. PVC-Robot A型基础平台车

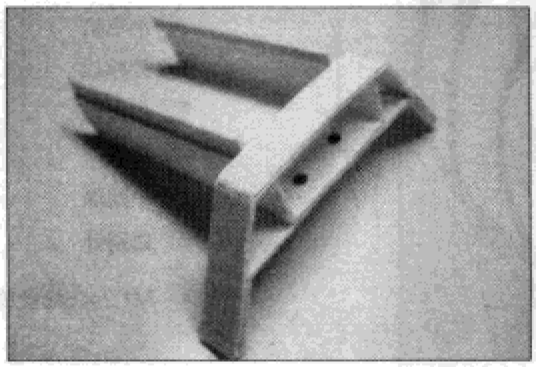
1 首先用剪刀裁剪两根PVC方条，宽0.8cm左右，长11cm。再用签字笔在两根方条距中心线分别为2cm和1.5cm的地方画横线做一个标记。用尖嘴钳对着标记线把两根PVC方条弯折成如图所示的形状，即中间非弯折部分的长度分别为3cm和4cm。



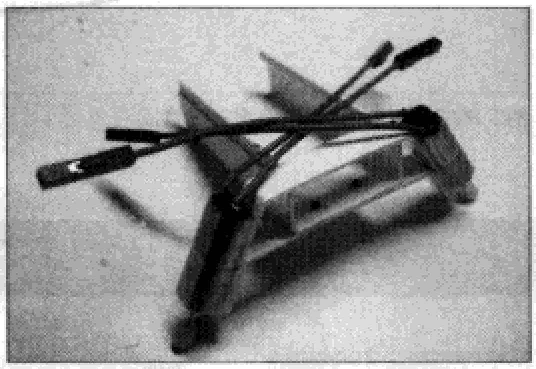
2 用剪刀裁一段宽度在2.5cm左右的PVC线槽的凹槽部分，长5cm左右，做成车体。对中间非弯折部分的长度为4cm的那根PVC方条，在中心点左右0.5cm处，分别用签字笔做一个圆点标记，用锥子对着标记打好孔。然后把方条对着车体，在车体上也用锥子打好对应的小孔。用刻刀（或裁纸刀）把车体的凹槽边缘部分割掉一截，宽度等于方条宽度，深度正好为PVC线槽原来的上下两个部分扣在一起的槽位。



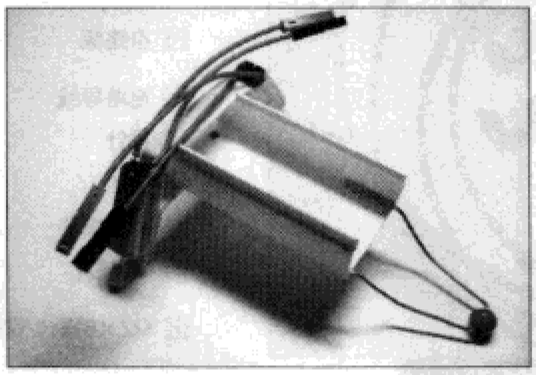
3 同时把两个方条叠在一起，夹紧车体，并且把没有小孔的那根方条正好扣在车体被刻刀割掉的槽位部分。然后用透明胶带把两根方条捆绑固定在一起，固定位置如图所示，正好到位于有孔的方条的弯折处开始。对被透明胶带固定在一起的两根方条，在2.5cm处用签字笔做好标记线，用剪刀把两根方条同时对着标记线位置裁剪掉多余的部分。注意具体裁切的长度与采用的电机尺寸有关。



4 把小齿轮安装到电机轴上，再把气门芯胶管剪一小段套在小齿轮上。假如齿轮的尺寸较大，不好套入气门芯胶管，可以在齿轮已经套到电机轴的情况下，用钳子直接用力把齿轮四周的齿夹扁，然后重新尝试套入气门芯胶管。把两根杜邦线都剪成两段，分别焊接在两个小电机的电极上。这里采用杜邦线主要是方便于模块化的插接组装，减少直接用电烙铁的焊接次数，组装、拆卸都很方便。把两个电机用透明胶带固定在前轮支架上，其中电机底部差不多正好与前轮上边的支架齐平。

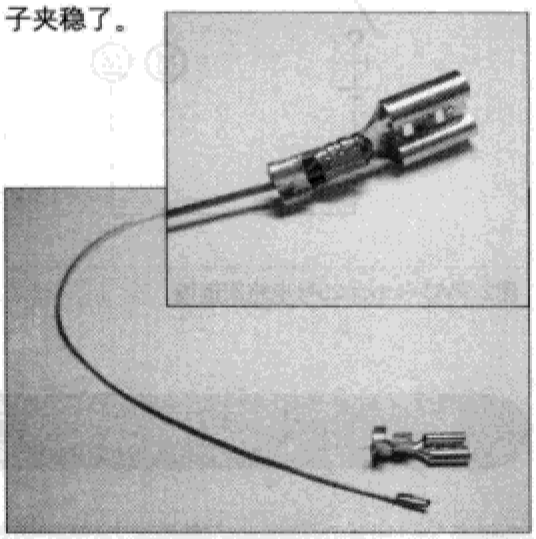


5 把曲别针用尖嘴钳折成如图所示的后轮支架，把作为后轮的小圆珠也套在支架上，然后把后轮支架套在车体上，并用502胶水固定起来。

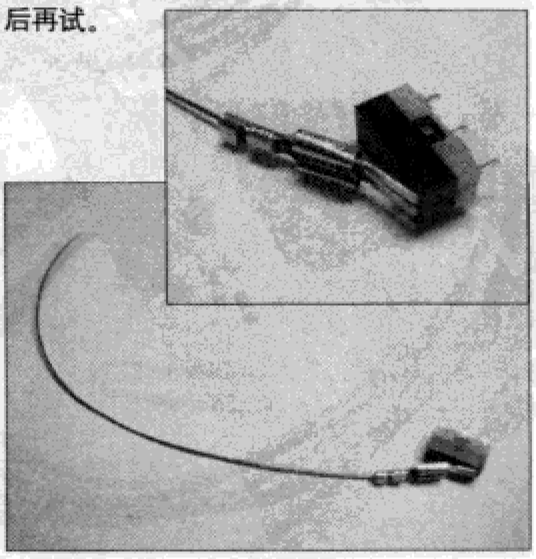


2. PVC-Robot 25号A版

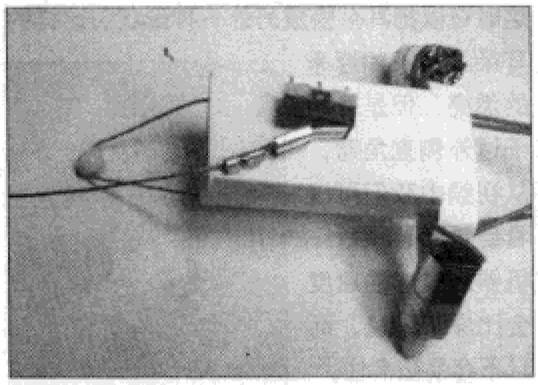
1 这款机器人使用触须作为探测墙壁的触碰传感器，该触碰传感器是由一根连接钢丝触须的碰撞开关构成，作为扩展模块安装在PVC-Robot A型基础平台小车的车体顶盖上。触碰传感器主要包括钢丝触须、碰撞开关以及把这两者固定在一起的连接插簧。把钢丝弯成一定的弧度，然后把连接的底端弯折起来，并夹在插簧前端，注意用钳子夹稳了。



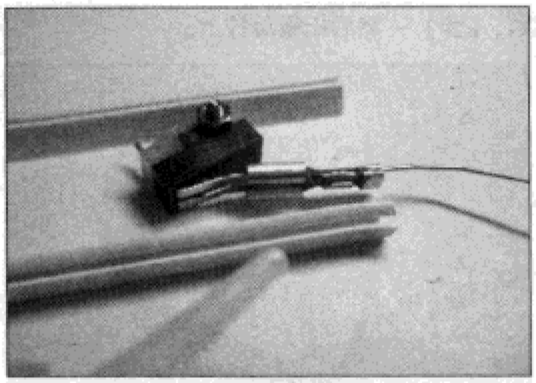
2 把插簧后端插夹到碰撞开关的摇臂上，注意让插簧平整的一侧向着碰撞开关的摇臂底端，方向不能错，且套入的深度不宜过深，以到达摇臂中间有空槽的部分为宜。为了让触须有足够的活动空间，可以用尖嘴钳把碰撞开关摇臂的前端（到中间有空槽的部分为止）适当外折。完成后可以用手按压触须，看是否能够带动触发碰撞开关（会发出“滴”的声音）。假如无法触发碰撞开关，可用尖嘴钳调整摇臂前端弯折部分后再试。



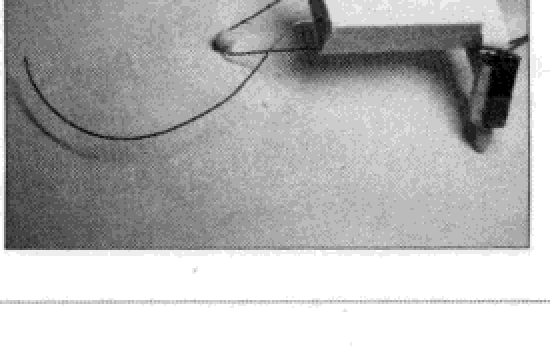
3 把组装好的触碰传感器放到A型小车顶盖上，基本上让碰撞开关和插簧部分刚好掩盖在车顶盖内侧，触须刚好露出来，且触须是朝着A型小车独轮一侧的一角引出。



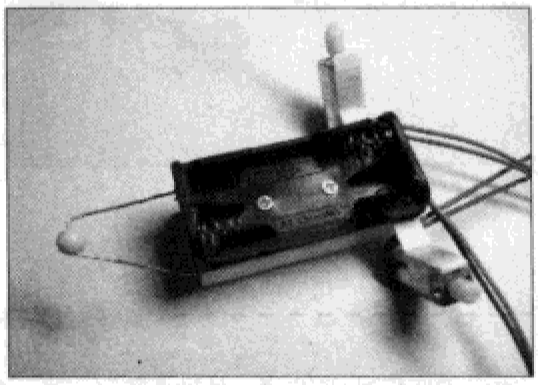
4 按照碰撞开关上的安装孔对应到车顶盖上的位置打好一个2mm的孔，把碰撞开关借助M2×10螺丝、M2螺母固定在车顶盖的内侧。调整碰撞开关的角度，并尝试按压触须，让碰撞开关触发，要保证整个按压过程中，碰撞开关摇臂以及插簧都不会顶到车顶盖两侧，且能够让触须顺利引出车身外。最后把螺丝拧紧，让碰撞开关的安装角度固定下来，还可以借助502胶水粘牢。



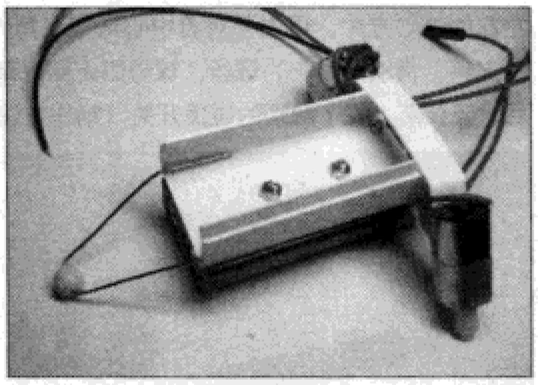
5 把车顶盖装到车体上，用手按压触须，应该能够顺利触发碰撞开关。注意：车顶盖的触碰模块盖到车顶上会容易些，直接按压盖子即可，但是因为盖好后就会扣上去了，假如要拆出来会有点困难，这个时候不建议直接强行撬开顶盖（PVC线槽盖），最好让顶盖往后顺着线槽轨道从车体后部滑出。



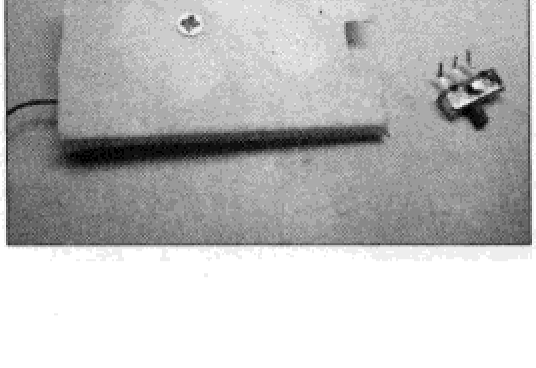
6 这款机器人用两节7号电池供电，可以是普通的7号干电池（1.5V/节）或镍氢/镍镉充电电池（1.2V/节），也可以用7号锂电池（3.5V/节）。电池盒是安放在车体底部的，在小车底盘上对应电池盒的安装孔打好孔。注意小车的电机支架的两颗M2×6固定螺丝要向车体内侧安装，因为电池盒要搭在这两颗固定螺丝的螺帽上才能平整安装。



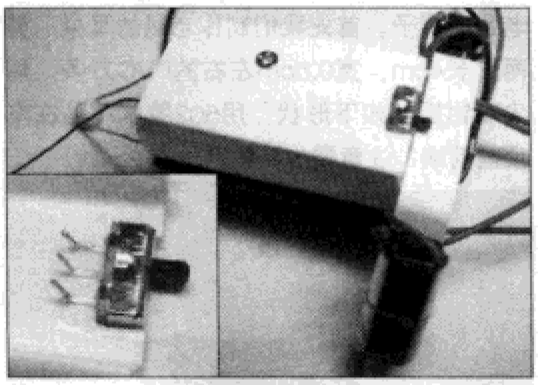
7 放正小车，假如电池盒已经碰到地面了，则要把A型小车后端的独轮支架往下弯折一些，即把小车底盘垫高一点。



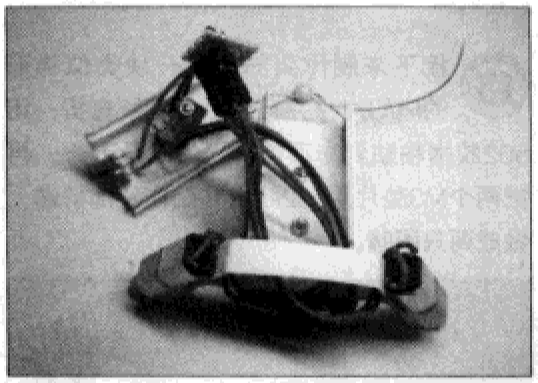
8 下面安装控制电源通断的拨动开关。为了让开关固定得稳固一些，这次不是直接借助胶水粘贴开关，而是在车顶盖后部中间位置先用剪刀和刻刀开一个和拨动开关宽度一样的安装槽，同时用尖嘴钳把拨动开关引脚前面部分弯折起来。



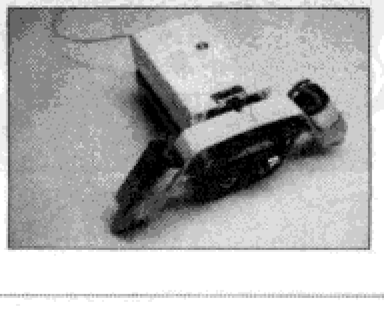
9 在车顶盖开出的槽四边涂上502胶水，然后把拨动开关插入槽中，其中车顶盖内侧面上也涂上一些（即把拨动开关引脚也粘起来）。这时可以看到拨动开关引脚前端是翘起的，便于焊接。盖上车顶盖后，开关是高于前面的电机支架的。



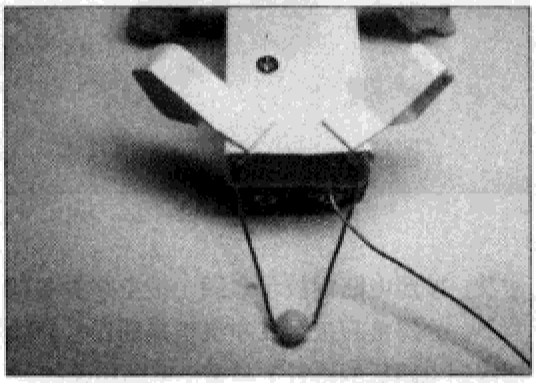
10 按照电路焊接示意图，把电路的各部分焊接起来。其中电机是通过杜邦线插接到电路板的排针上与整个电路相连的。



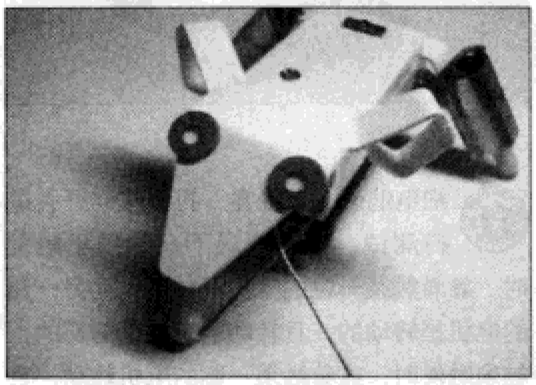
11 把电池装入电池盒，打开拨动开关进行测试。正常情况下，触须不触发时，靠着触须一侧的电机不转动，而另一侧的电机是转动的，且转动的方向是向前的，触须触发时，靠着触须一侧的电机转动，且转动的方向也是向前的，而另一侧的电机停止。假如两侧的电机转、停的状态相反了，则调换两个电机所插接的排针，假如某一侧电机转的方向反了，则要调换该电机所插接的两根排针。调试正常后，就可以把车顶盖盖上，再把外露的导线以及杜邦线收纳到车体中，注意不要卡住触须而影响到触发。这时让小车靠着墙壁跑起来，顺利的话，就已经可以实现沿着墙走的效果了。否则可以再调整触须的弯折程度，靠着墙壁时能够顺利触发碰撞开关，但又不至于让后轮擦碰到墙壁。



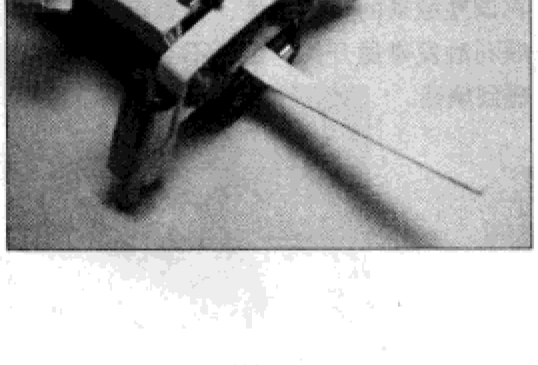
⑫ 机器人除考虑效果和性能外，外观的装饰也很重要，而且装饰也不仅仅是外观上好看，有时候还会有一定的功效。既然本项目命名为老鼠，那么理所当然就要有老鼠的样子。首先我们制作老鼠的耳朵，剪两片长4cm、宽0.5cm左右的PVC方条，用尖嘴钳折成如下形状，用502胶水粘贴在车顶盖前端，注意要向后倾斜一点。



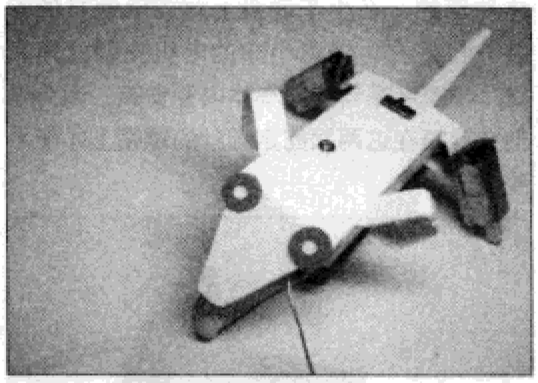
⑬ 接下来制作头部，剪一块类似梯形的PVC片，并且在后端有所弯折，用502胶水粘贴到车顶盖前端的耳朵上方。再把两个M3垫片用502胶水粘贴在头部前端，做成两只眼睛。



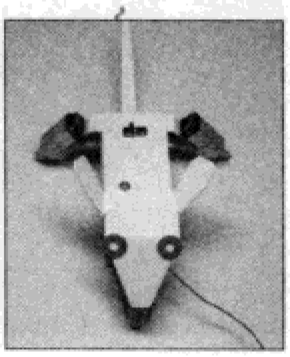
⑭ 最后，老鼠少不了尾巴。剪一根长5.5cm左右的扁长型PVC方条，作为尾巴插到小车后端电池盒与底盘之间的夹缝中，如果不够牢固，可以滴一点502胶水加固。



⑮ 完成整体的装饰后，就活像一只老鼠了。

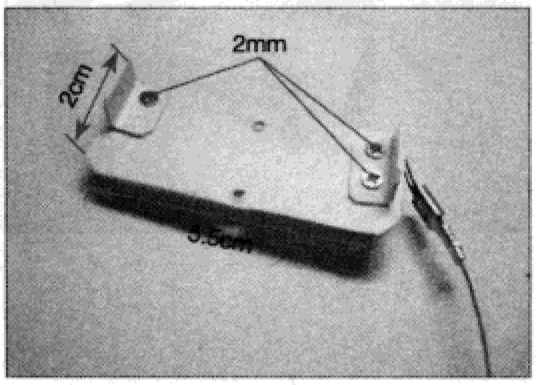


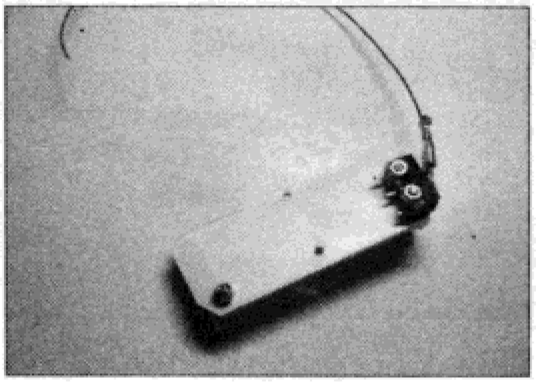
⑯ 以上的外形结构，在围绕方形盒子转圈时（视频中有该情形），在过外侧直角弯时，容易因为耳朵被卡住而动不了，这时可以把耳朵换成另外一种形状。这样的耳朵虽然不如原来的漂亮，但是有利于过外侧直角弯，从视频中我们可以看到更换耳朵后，机器人过弯的速度会比原来稍快，而且不容易被卡住。



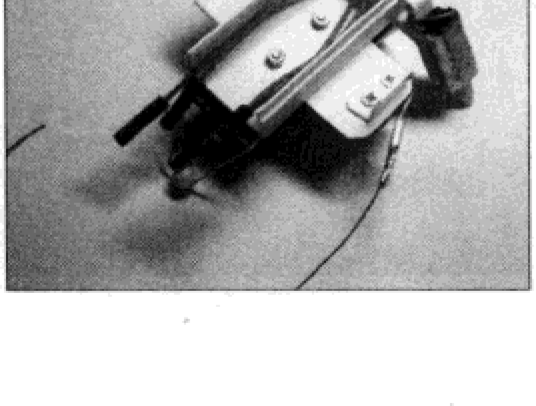
3. PVC-Robot 25号B版

① B版相对A版来说，体型更圆润一些，在经过角落和弯道时比A版更为灵活。A版因为身体以及耳朵等部位容易碰到周围的墙壁而影响行动，而B版就不会有这个问题。剪一片长5.5cm、宽2cm左右的PVC方片作为底架，并在上面依次打上几个直径2mm的小孔：最左侧距离边上0.5cm左右的位置，打一个安装孔，中心位置，对照电池盒的安装孔打两个安装孔，最右侧距离边上0.5cm左右的位置，对应碰撞开关的安装孔，再打两个安装孔。剪两片长2cm、宽2cm左右的PVC方片，用钳子对着中心弯成直角作为支架，并打上对应的安装孔。左侧单个安装孔的支架，借助M2×6的螺丝、螺母固定到底架上。右侧两个安装孔的支架，用M2×10螺丝穿过后，还要装上安了触须的碰撞开关（制作方法同A版1、2步），然后把螺母拧上。

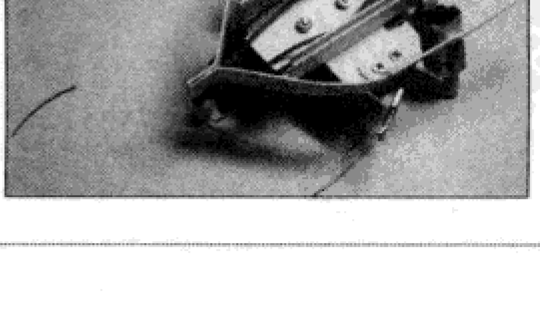




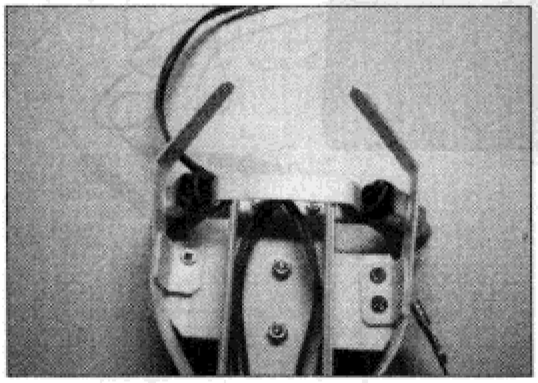
② 在A型小车底盘上对应底架中心的两个安装孔打好相应的孔，然后把底架用M2×6螺丝、M2螺母固定在小车底盘上。



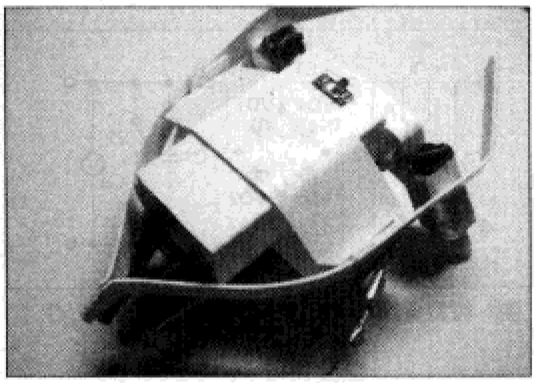
③ 剪两根长11cm、宽1cm左右的PVC长条，作为侧裙条。把两根侧裙条前端长约0.5cm的一段涂上502胶水，然后并在一起粘起来。等502胶水干了，在侧裙条的另外一端把侧裙条逐渐分开，如图所示围绕着车体两侧，其中侧裙条前端基本与前轮的位置平齐。在支架上涂上502胶水，把侧裙条与支架固定在一起。



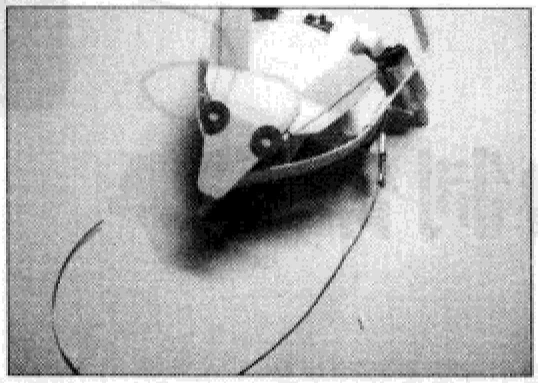
④ 侧裙条围到了车体后端，然后往内侧折一下。



⑤ 剪一段长7cm、宽2cm左右的PVC方块，并且保留中间2.5cm的宽度后，如图所示往两边下侧弯折，作为背板，借助502胶水固定在车顶盖上。

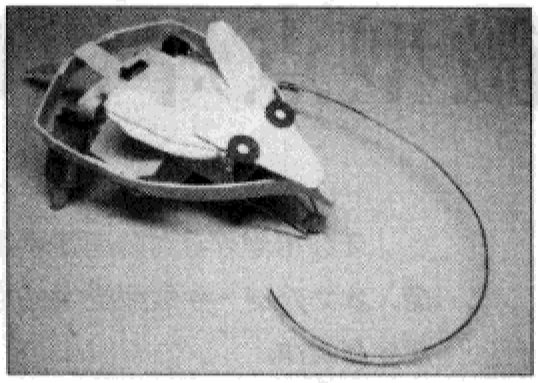


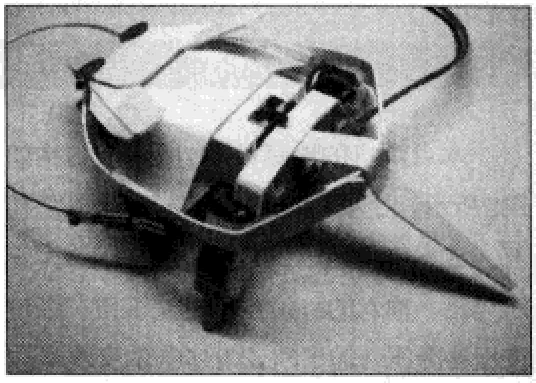
⑥ 用PVC剪成耳朵和脑袋的形状，粘贴在车体顶盖前端，并且把两个M3垫片粘在头部作为眼睛。



⑦ 侧裙条后端向内侧弯折后，在两侧之间的空隙处粘上一小块PVC方条，把侧裙条后端连接起来。剪一条长7cm、宽0.5cm左右PVC长条，其中一侧剪成略微尖角，作为尾巴。尾巴的一侧套到车轮的支架底下，注意这个地方不用涂502胶水固定。尾巴经过侧裙条后端之间的连板时，往下做一定的弯折，在此处涂上502胶水固定。最后调整好尾巴的角度。

⑧ 按照电路原理图和焊接示意图，把电路的各部分焊接、插接起来，装入7号电池进行测试，步骤同A版。测试正常后，可以把车顶盖盖上，并把外露的导线以及杜邦线收纳到车体中，注意不要卡住触须而影响到触发。





调试完善

1. 常见问题的解决

（1）原地打转，并且转向有触须的一侧（视频中有该情形），这是正常的，只要让机器人有触须的一侧靠近墙壁，让触须能够碰到墙壁即可。

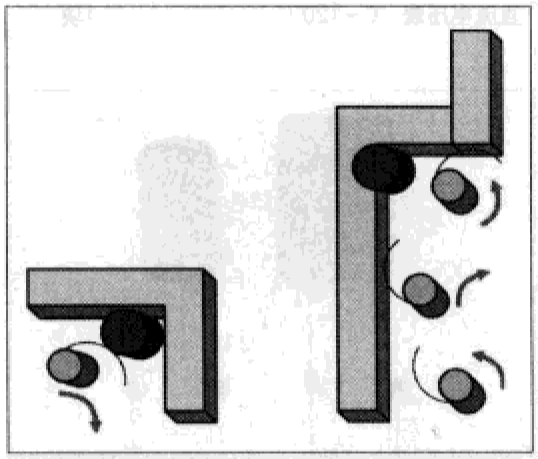


图4 想让B版真正能过内侧拐角的话，需要在角落上放置一个小圆柱

（2）触须碰到墙壁但是无法触发，则用尖嘴钳把触须再向外侧弯折调整一下，或者重新按照前面传感器的制作过程进行检查。如果是头部卡住触须导致无法触发，可以把头部向下弯折的幅度调小一些。

（3）靠近墙壁一侧的后轮擦到墙壁，导致卡住动不了，则用尖嘴钳把触须向外弯折，让触须可以在靠向墙壁时早一点触发。

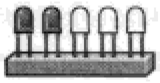
2. 关于内侧拐角的巡边

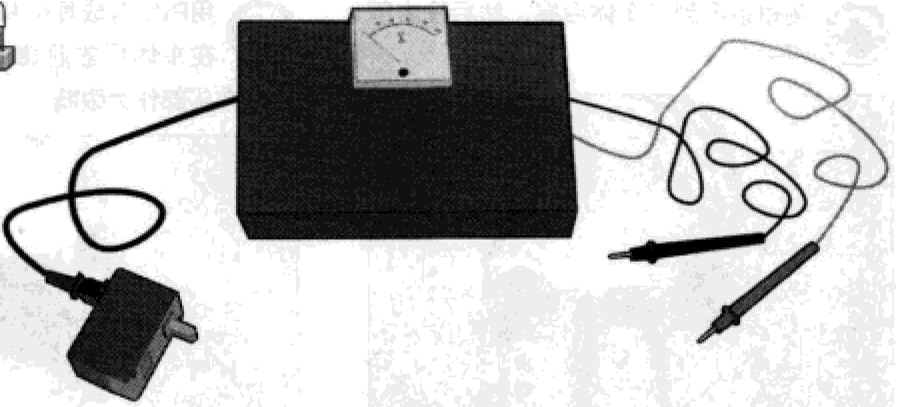
前面我们提过，本项目的B版机器人由于比A版在体型、结构上更完善，所以B版可以走A版无法走得过的内侧拐角。之所以如此，主要是B版体型比较圆润，没有那么多的棱角，不容易被周边墙壁或者障碍物卡住，A版的触须有点短，且从头部前端引出，触发相对迟钝一些，而B版的触须是从身侧引出，并且比较长，触发的灵敏度更高一些。

注意，想让B版真正能过内侧拐角的话，需要在角落上放置一个小圆柱（如图4蓝色部分所示），我们这里是直接放上圆柱形的1号干电池（见视频），也就是让角落更圆滑一点，这样B版在拐弯时不至于卡在里面。

假如过弯道不是很顺畅，可以适当调整触须的弯曲程度。

◇苏永春　王凯





微型点焊机的制作

无线电爱好者或物理教师在实验中经常需要焊接较小的器材，而市场上出售的点焊机一般较大，使用起来很不方便。本文介绍一种微型点焊机的制作方法，该点焊机利用电容器放电的原理焊接金属元件，结构简单，材料易得，非常容易制作。

电路简介

本点焊机的电路如图1所示，结构如图2所示，主要由变压电路，整流电路和充、放电电路组成。其中降压变压器为变压电路，输入的e1为220V的交流电，经过变压器降压，输出的e2为110V的交流电。

二极管VD1、VD2、VD3、VD4组成桥式整流电路，将交流电变为直流电。当变压器输出的交变电压处于正半周时，上端A为正，下端B为负，二极管VD1、VD3导通，VD2、VD4截止，此时充电电流方向是由上端A经S1、VD1、电阻R、电容器C1、VD3到下端B。当变压器输出的交变电压处于负半周时，上端A为负、下端B为正，二极管V D1、VD3截止，VD2、VD4导通，此时充电电流方向是由下端B经VD2、电阻R、电容器C1、VD4、S1到上端A。因此，无论是交流电的正半周还是负半周，通过电阻R的电流方向一直是从左至右，始终给电容器的上极板充正电，下极板充负电。

电容器为充、放电电路。充电后打开开关S1，电容器放电时便可进行焊接。

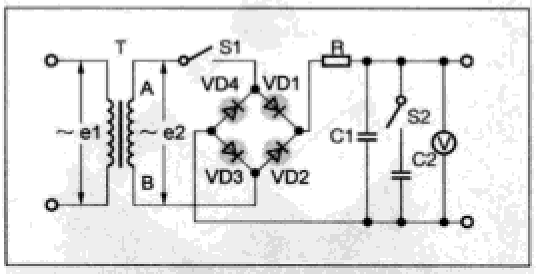


图1 微型点焊机电路图

附表　制作所需的元器件

名称	规格	数量
降压变压器	220V 降至110V，也可以用中学物理实验室的学生电源做外置电源	1个
二极管	可以选用型号：RL202、RL203、HER152、HER153	4个
电阻	10W、400Ω	1个
大容量电解电容器	180V、2200μF，可用同样耐压的多个小容量电容并联代替	2个
直流电压表	0~120V	1块

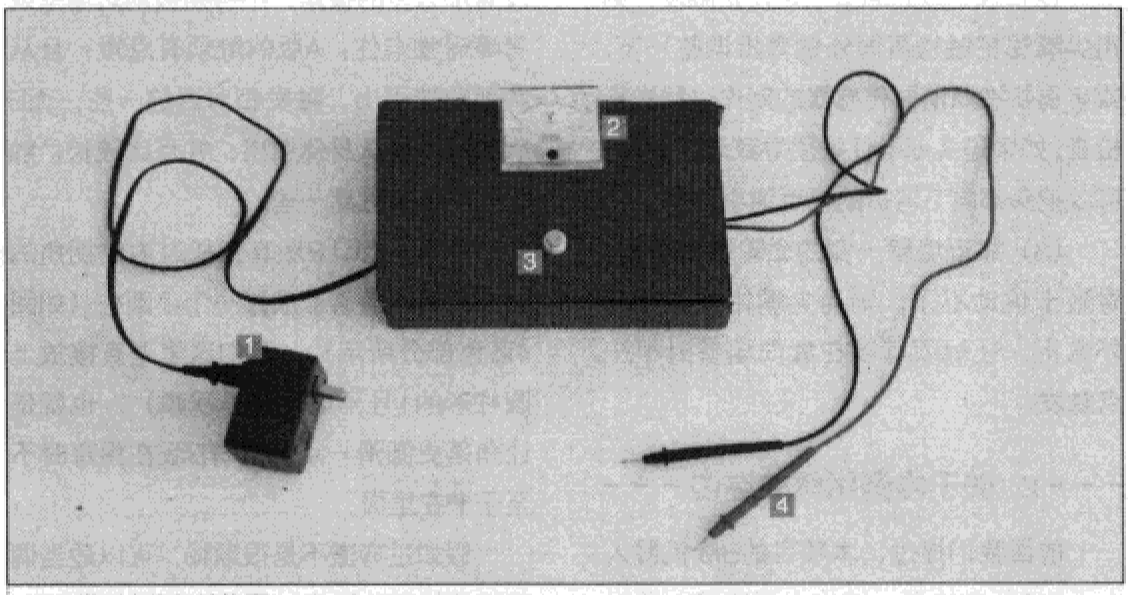


图2 微型点焊机结构图

1 电源插头　2 电压表　3 开关　4 电极

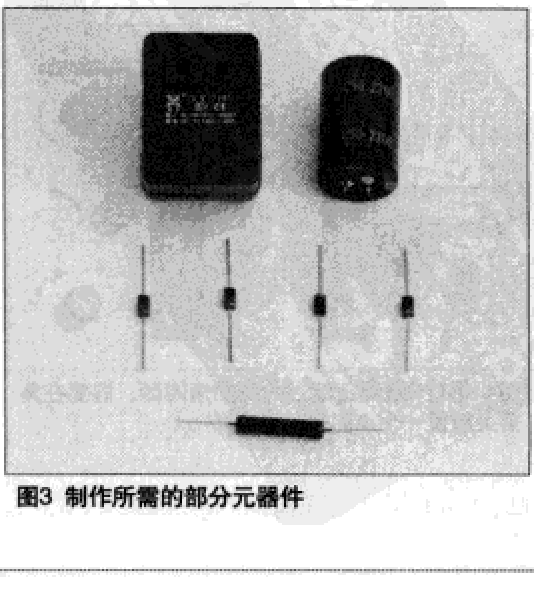
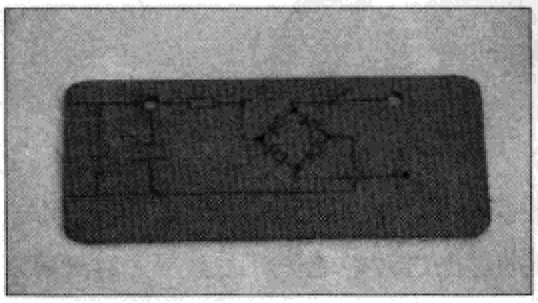


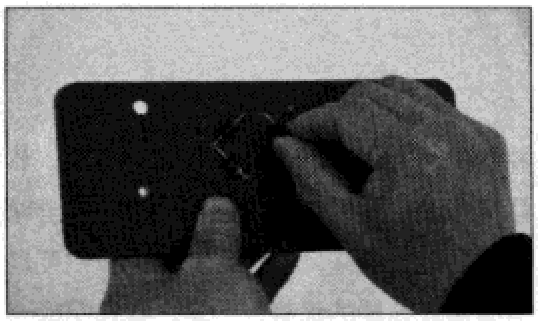
图3 制作所需的部分元器件

制作过程

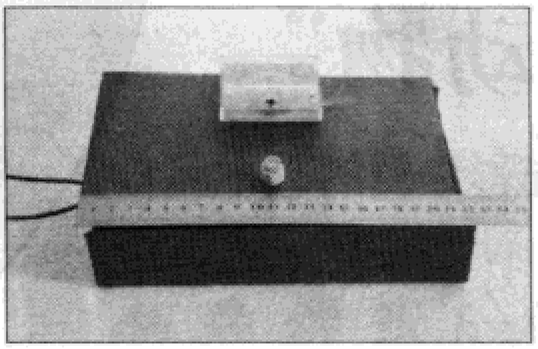
① 选用10cm×18cm的长方形电木板做电路板，在正面画上电路图的对称图，并在元器件位置打洞。本制作为只采用一个电解电容器的低放电量版本，可焊接容易焊接的轻薄金属元器件。如果被焊接物较厚，需要增大放电量，应多并联一个电容器，并在使用中闭合开关S2。



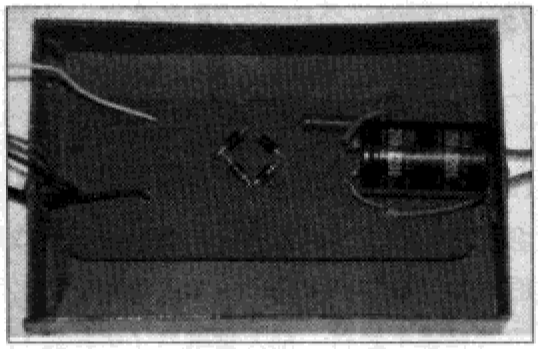
② 将电木板翻转，在其反面插入元件，再将板面翻转，按电路图焊接电路。



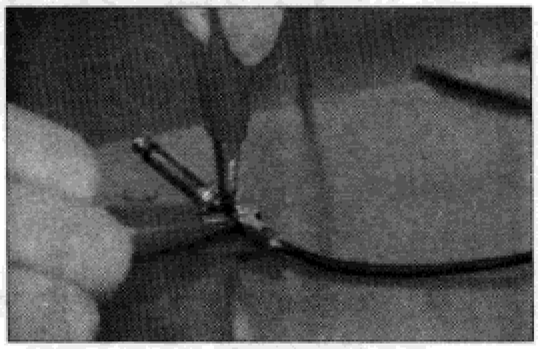
③ 选取20cm×15cm×5cm的长方体塑料盒，将电压表、开关固定在塑料盒盖上。



④ 将电路板放在塑料盒的内部，再与盒盖上的开关、电压表连接好。这样，一个微型点焊机就做好了，下面我们开始焊接吧！



⑤ 将电源插头插入220V的交流电源，将被焊接物对接好。闭合开关S1，对电容器充电，十几秒钟后，电压表示数达到100V左右，打开开关S1，即可进行点焊。



制作和使用时应注意的问题

1 选取元器件时，电容器必须用大容量的电解电容器，焊接时注意其正负极。
2 焊接时，电极必须压紧被焊接物。
3 为确保安全，被焊接物最好接地。

微型点焊机的应用

本点焊机制作简单，成本低（大约50元），用途广，可以焊接领带夹、眼镜架、首饰链等生活用品，还可以在实验中焊接天线、表笔、电脑机箱等物品。图4、图5所示是我利用点焊机制作的电磁波接收仪、螺线管等自制教具。

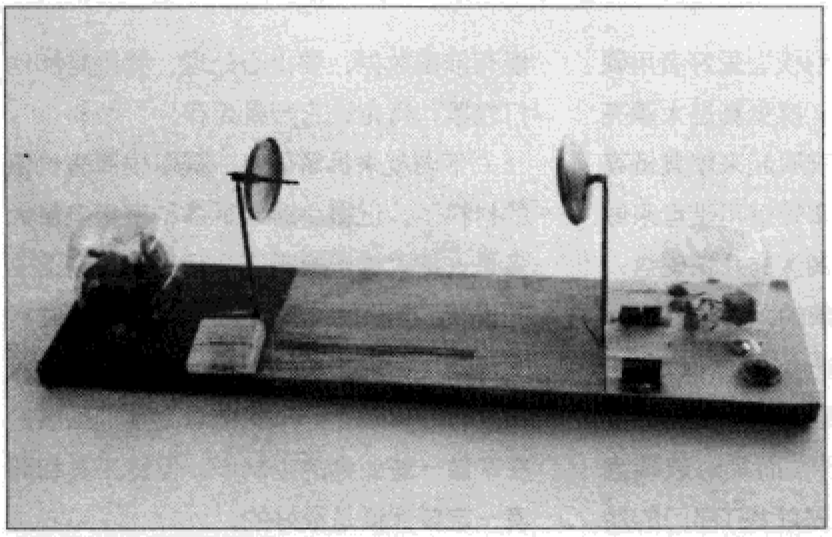


图4 自制的电磁波接收仪

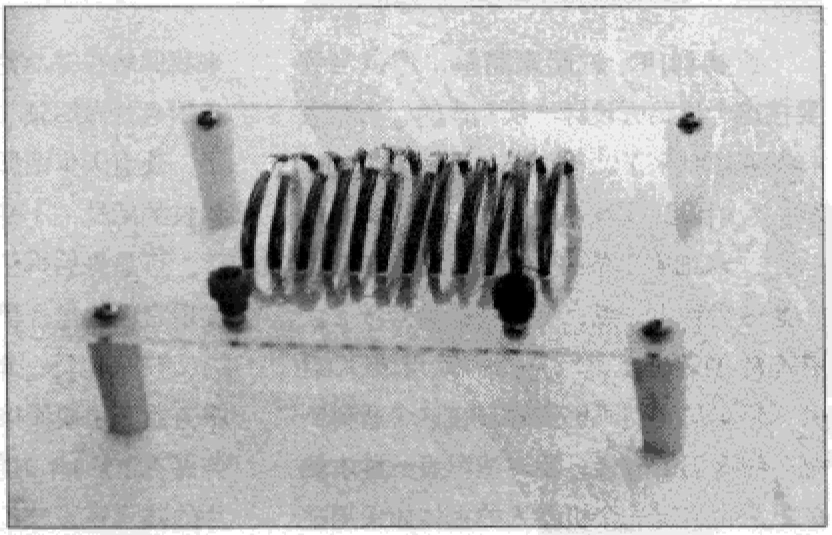
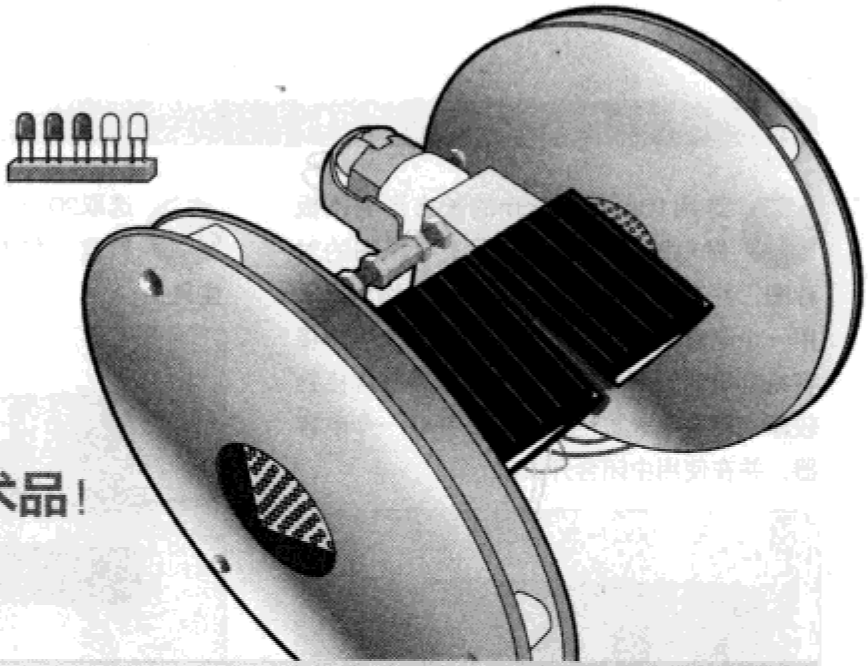


图5 自制的螺线管

◇臧海波 ◇插画：刘少冉



"双细胞硬盘动物"

让身边的E-waste变身为光彩夺目的艺术品！

E-waste就是大家常说的"电子垃圾"或"电子废弃物"，废弃不用的电子设备都属于电子废弃物。现在电子产品更新换代非常快，不知不觉地，身边就出现了各种各样用不到的电子产品。如果把这些过时的电子产品直接丢弃或者当作废品处理，未免有点可惜，也不利于环保。笔者对这类物资一直情有独钟，从造价上来说，它们基本是零成本，而如何才能利用好这些垃圾中的精华，又是一件颇费心思的事情，这非常符合我这个电子爱好者的口味。本文就给大家介绍一个低成本、高娱乐性和观赏性的硬盘机器人。它的主要材料取自废弃的硬盘、网上打包促销的廉价元件，和生活中常见的一些小材料，造价不足15元，利用一个周末制作完成。

作为一名制作爱好者，MAKE网站（http://makeprojects.com）是我经常光顾的地方，里面的制作项目和涉及的门类可谓是五花八门。中文版《爱上制作》的好处是把这些精彩的制作系统地归纳并展现给读者，这样可以比较容易解读国外爱好者的制作理念。我按照自己的体会把它们归纳为两大类：一类是吸引观众眼球的"准"艺术品，一类是实用项目。不管是哪类题材，都大量融入了可持续利用、资源再生这些环保的制作理念。爱好者们的制作全都构思巧妙、造价低、发掘材料的潜力，让观众有所触动。其实，节能环保也正是当今整个制作一族乃至全球所倡导的一种文化，作为DIYer，我们可是有着得天独厚的优势。于是，我在完成一些高成本的制作之后，也想多花一些心思来进行这类题材的制作。

备料

废物利用，说起来简单，但是当我要按这个思路去设计一项制作时，各种各样的麻烦就来了。首先是找不到理想的材料。我的设计是利用一对太阳能引擎组成一个"双细胞"的BEAM机器人。在造型上想做得艺术一点，特意把车轮夸张了。在车轮的选择上，一开始打算用废CD盘片，但是总觉得不够满意。在这个塑料制品一统天下的时代，我对塑料有一种本能的抵触，何况一个机器人的主体如果用塑料构建起来，总是少了点机械的味道。后来我偶然在5iMX论坛看到模型爱好者用硬盘的盘片做四轴飞行器，感觉真是太漂亮了，硬盘天生丽质，外观看起来就具备高科技的感觉，于是我的车轮就用硬盘来做了。可是先后拆了自己淘汰的几块硬盘，发现它们的盘片都是玻璃的，无法打孔。

说来也巧，单位的一台惠普LC2000服务器坏了要作报废处理，我记得这台服务器在2004年时就有了，而那时玻璃盘片的技术还没流行，于是就找IT部门的朋友要了回来。那个朋友还特别嘱咐硬盘可能有涉密数据，要小心处理，我则是和他打包票，肯定让它尸骨无存。

下面就来拆解硬盘，提取里面有价值的材料了。记得小时候拆各种家用电器大多是一把改锥走遍天下，现在随着制造业的发展，拆一件电子产品也变得越来越富有挑战了。对于废物利用，我建议大家应该具有"拆装工厂"的概念。我们虽然是在家做一些业余的小制作，但是工具和环境一定要保证是最好的。

电子垃圾一般对人体是无害的，但

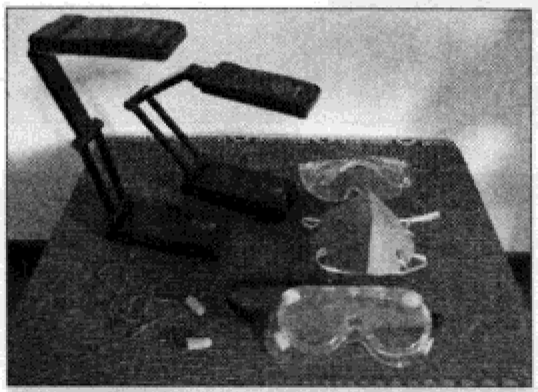


图1 拆硬盘建议准备的工具

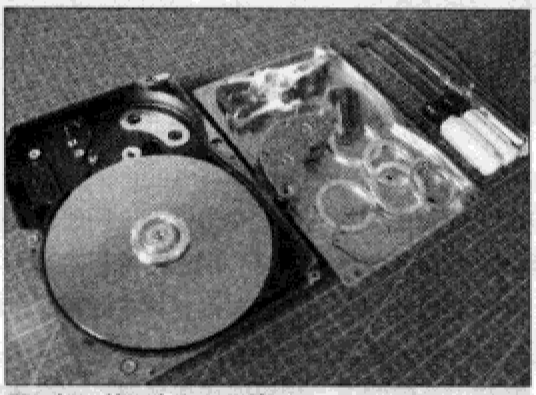


图2 拆开的硬盘和所用的工具

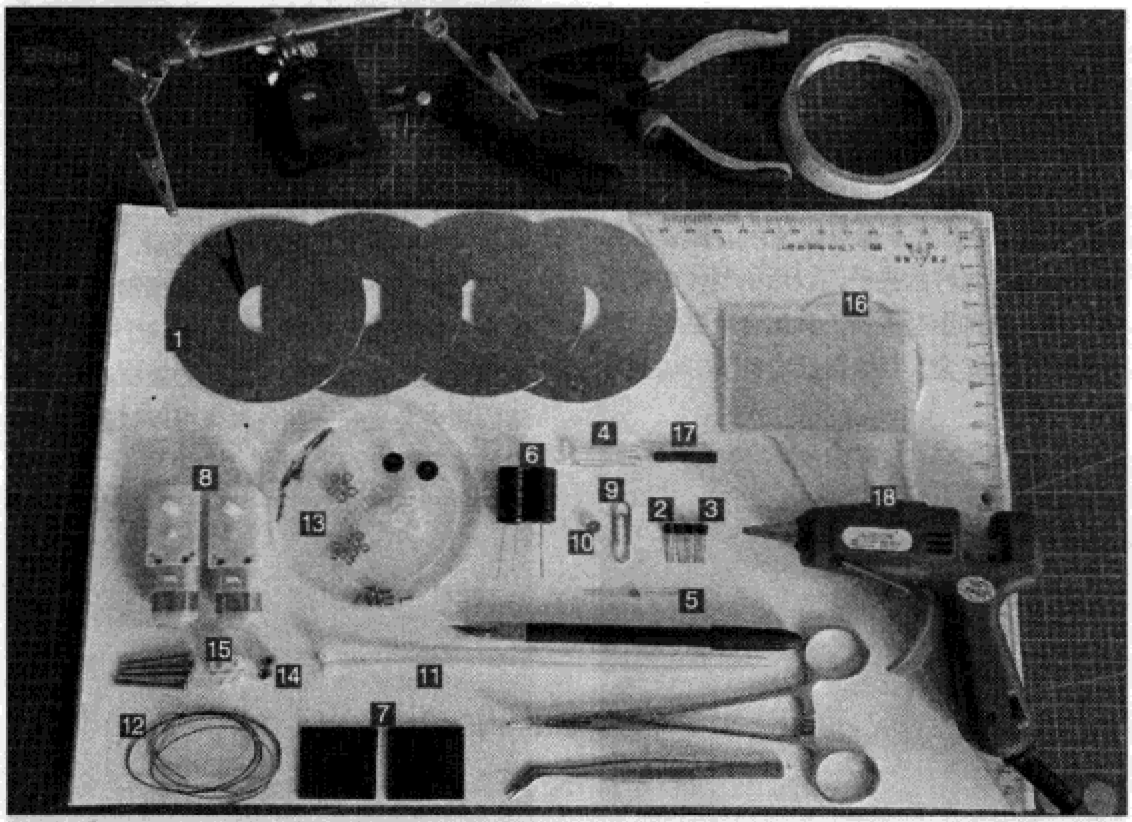


图3 制作所需的材料

表1 制作所需的材料

名称	数量
1 硬盘片	4片
2 2N3904 NPN型三极管	2只
3 2N3906 PNP型三极管	2只
4 3mm或5mm LED	2只
5 2.2kΩ电阻	2只
6 4700μF/16V电解电容	2只
7 5V太阳能电池	2片
8 减速电机	2只
9 曲别针	1枚
10 通孔玻璃珠子	1颗
11 尼龙扎带	2根
12 导线	适量
13 紧固螺丝、螺母	适量
14 通孔铜柱	适量
15 垫片	适量
16 洞洞板	1片
17 热缩管	适量（备选）
18 热胶棒	适量（备选）

表2 制作所需的工具

记号笔
三角尺或量角器
胶带，选择容易揭下，不留残胶的胶带。我使用的是3M纸基胶带
台钻
G型夹子
手锯
焊台、焊锡
电子剪
弯头镊子
放大镜台，注意，为了安全起见，最好把放大镜拆掉，反正平时焊接时也很少用到放大镜。此举可以防止阳光意外照射到镜片产生聚焦，发生隐患
螺丝刀
弯头钳子
热胶枪（备选）
雕刻刀（备选）
电吹风（备选）

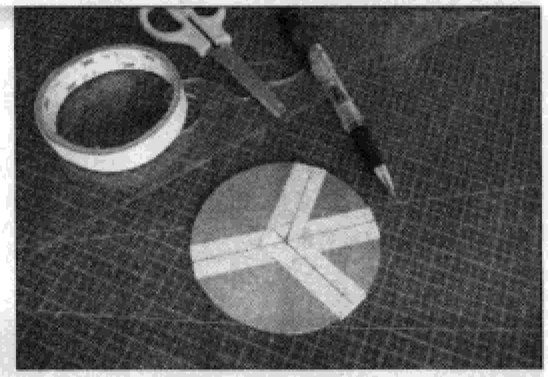
是为了健康，还是要做好安全保护（见图1）。老型号的硬盘内部除了采用温彻斯特技术以外，还有可能充入惰性气体保护盘片。所以拆硬盘建议戴好口罩和护目镜，在通风的环境下操作。为了拆解细小部位的零件，我还准备了两台可充电的台灯，移动着使用非常方便。桌子垫是一张A2幅面的模型切割垫，一是为了保护桌子，二是垫子上预制的标尺也起到辅助测绘的作用。

为了从电子垃圾中拆出可以用的材料，还需要准备一些平时很少用的工具。拆硬盘，必须使用的工具是梅花头螺丝刀，一般拆外壳的固定螺丝使用T8规格的螺丝刀，机芯里面的小结构使用T6规格的。硬盘的主轴上有一个Ω型卡子，用镊子或两只牙签把卡子拨开，再用平头螺丝刀撬开盘片的压片就可以取下盘片了。老式硬盘的主轴结构是一个盘片、一个压片间隔放置的。从这个硬盘中我拆出了5片铝质盘片。硬盘比较薄，我用游标卡尺实测，厚度在0.8mm。为了使车轮转起来更稳定，我采用了双层轮片的结构，每侧使用两片硬盘片组成车轮。

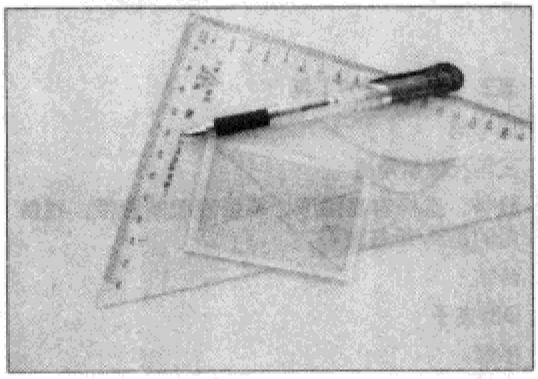
其他材料就是一些常见的东西了，基础电子元件、减速电机这些大家都不陌生了。LED作为太阳引擎的触发元件，应该怎么选择，我曾经和好友pvcbot讨论过这个问题。一般网上卖的3mm或5mm单闪LED的启动电压都在2.7V左右，再加上三极管PN结的0.7V，需要配4V以上的太阳能电池才能获得比较好的效果。还有一种方案是使用常见的单色LED，这种LED的电压一般在1.5~2.5V，可以选用低压的太阳能电池（比如3V的）。但是需要注意，单色LED的点亮电流比较高，太阳能电池要能提供足够的电流。通孔玻璃珠使用手工制作穿手链的珠子就可以，我在附近的10元店花2元钱买了一大把。

机械部分的制作

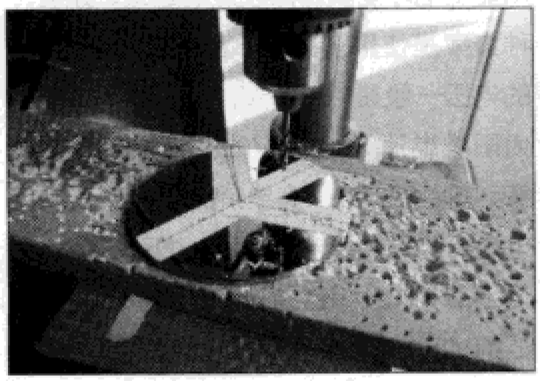
1 硬盘的内孔比较大，无法直接安装在减速电机上，首先要给它做一个轴连器，同时还要打好双层盘片（车轮）的固定孔。硬盘表面太光滑了，像镜子一样，用记号笔根本写不上字，我只好使用纸基胶带将四片盘片叠在一起，再画定位标记，加工好以后再揭去胶带。盘片内孔附近的3个标记是打轴连器安装孔的，外沿的3个标记是叠加双层盘片的。标记要尽量精确，我使用的是120° 等分法，顺便又复习了一遍初中几何知识。如果使用量角器，这个步骤会比较简单。



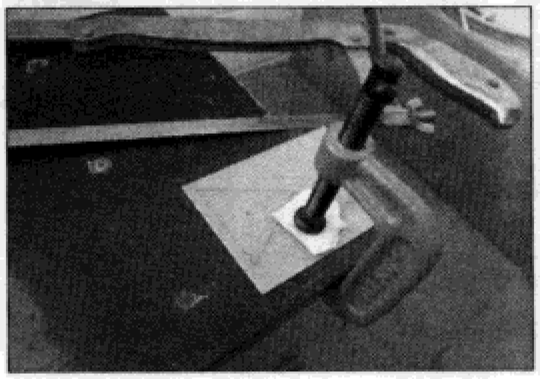
2 继续画好轴连器的标记。我使用材质较好的洞洞板来制作轴连器。简单说，就是用这样一片材料堵住硬盘片中间的窟窿，再借助这片材料固定减速电机的主轴，下文会有详细说明。



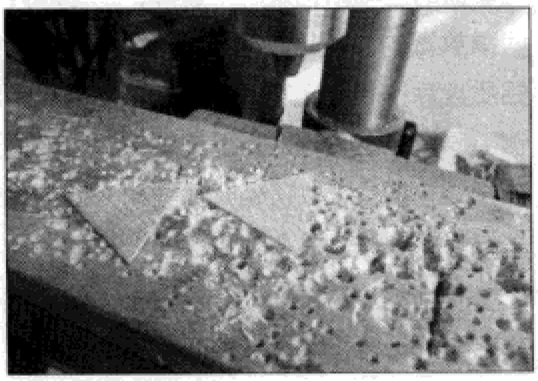
3 开始摧残硬盘（IT部的那位朋友要是看到这个镜头，肯定对我是一百个放心了，哈哈），按标记好的位置，一次打穿4片盘片。注意硬盘很光滑，钻孔的时候用力要缓慢，防止盘片之间打滑错位，造成孔对不上的问题。这个步骤建议使用台钻，先用小钻头打先导孔，再进行扩孔会比较容易，这也是我一再推荐制作爱好者必备一部台钻的原因。此外还需要注意，硬盘的材质是比较硬的铝合金，钻孔的时候会产生飞屑，最好降低转速，缓慢进刀，并佩戴好护目镜和口罩。



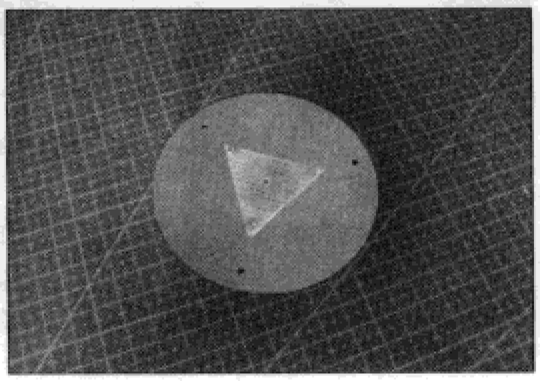
4 裁切洞洞板，制作轴连器的结构件。因为材料比较小，建议使用夹持工具固定好再切割，我使用的是一只木工常用的G型夹子，C型夹子也可以使用。建议爱好者准备几只这样的夹子，以后的制作中会经常用到。这种小型夹持工具配合台钻给小零件钻孔也很安全。我给自己准备了6只2英寸的G型夹子。



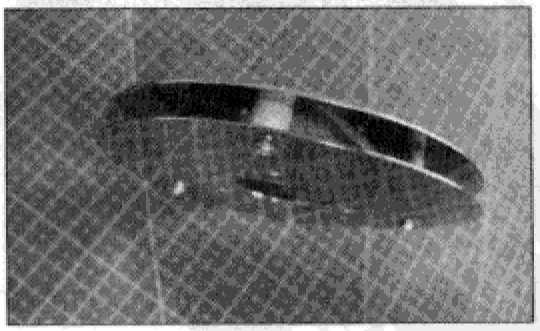
5 给轴连器钻孔，因为材料比较小，可以使用平口钳子辅助压好，再进行钻孔。这个步骤也可以放在裁切之前，在一张大板子上打孔要容易得多。



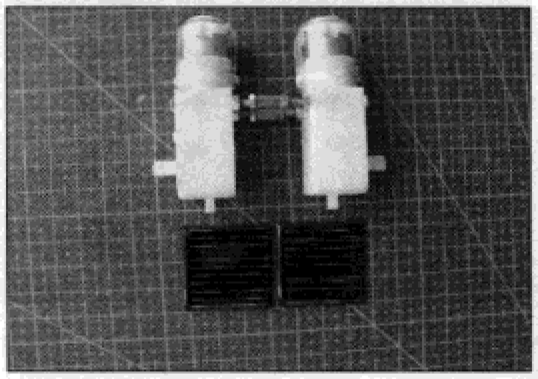
6 轴连器与内侧车轮是这样固定的。注意中间的孔一定不要打偏，否则机器人走起来是不稳的。洞洞板上预制的焊孔可能会干扰固定孔的对位，所以这个材料并不是上佳之选。如果使用盲孔的板材或者易拉罐的底壳会更好一些，大家可以根据自己的喜好来制作。



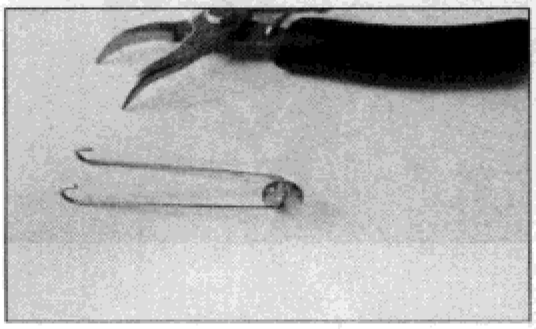
7 叠加上外侧车轮，在盘片的外沿用3颗螺丝固定好，中间垫上适当厚度的垫片。从这个角度可以看到内外侧车轮和衬垫的组合方式。



8 机器人的传动部分是一对减速电机，用螺丝、通孔铜柱把它们连接在一起。注意太阳能电池将安装在电机上方，所以电机的间距要容纳得下这两片电池板。

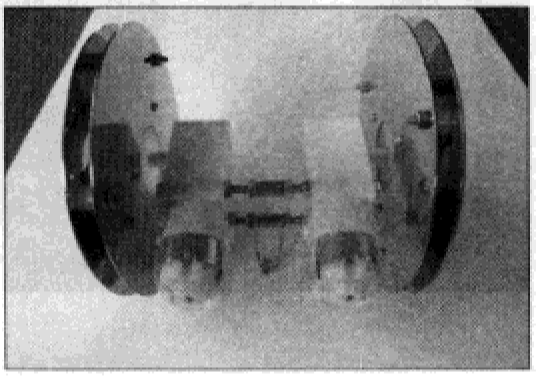


9 用曲别针和玻璃珠子做好机器人的支撑轮。减速电机的尾部重心比较大，需要借助这颗珠子做它的辅助支点。我测量过网上常见的这种减速电机配合上5英寸硬盘片的高度，用一根曲别针弯出来刚刚好。



10 至此，机器人的结构件就全部准备好了，下面开始组装。用两只自攻螺丝将轴连器和电机输出轴固定在一起。如果觉得强度不够，可以在结合部位适当加入热熔胶辅助固定。图中为固定好的一侧车轮。

11 从这个角度可以看到玻璃珠支撑轮所起到的作用。至此机器人的结构部分就完成了。



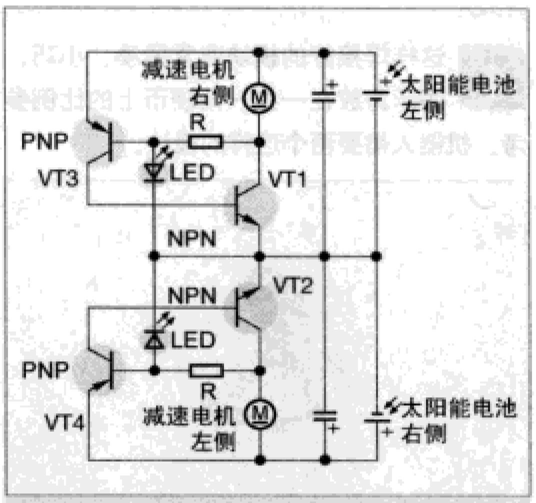
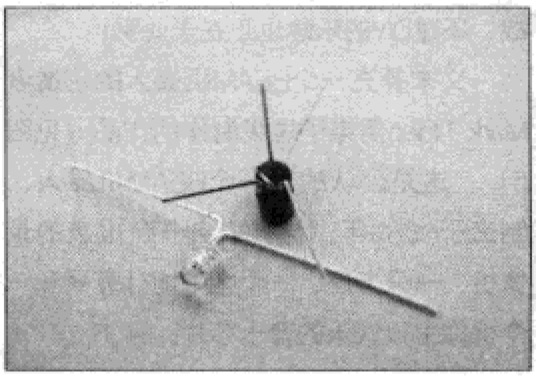


图4 机器人的控制电路

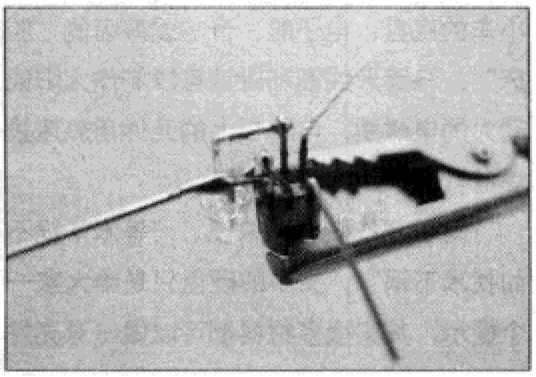
机器人的控制电路如图4所示。这是由两个太阳能引擎交叉组合到一起的双技术化“细胞”，它的巧妙之处在于使用极其简单的电子设备模拟了生物的反射行为，使机器人可以和周围的环境互动。在这里，太阳能电池既提供了机器人运转的动力，又是机器人的“视觉”传感器，使它可以分辨哪一侧光线强，并追着光或避光（注意太阳能电池和电机的位置，图中所示为差速追光，如果电池和电机在同侧，则为避光）运转。因为电路比较简单，我试着做了一些艺术化焊接，把每个元件都当作一个建筑材料，我管这种焊接叫“砌墙”。

电路部分的制作

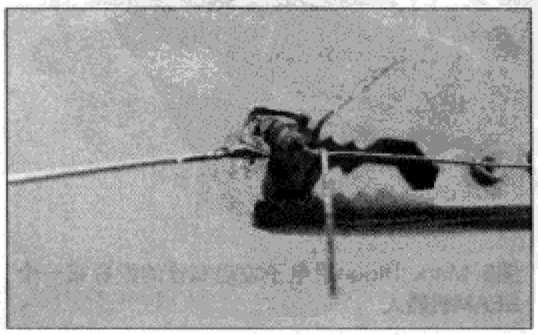
1 首先把NPN和PNP三极管如图所示“脸对脸”贴在一起，连接好PNP三极管的集电极和NPN三极管的基极，剪去多余的管脚。把LED的管脚弯折成图示形状。



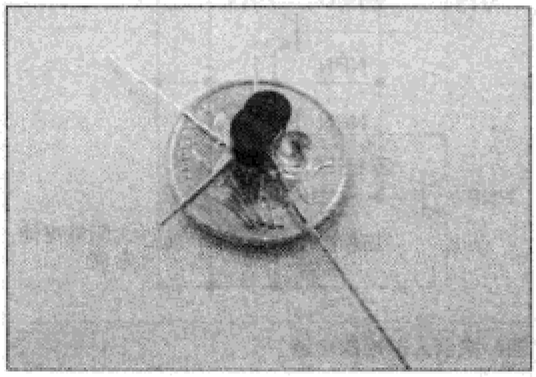
2 将LED的正极粘接在PNP三极管的基极，剪去多余的管脚。LED负极焊接在NPN三极管的发射极，管脚不要剪掉，作为整个模块的地线。



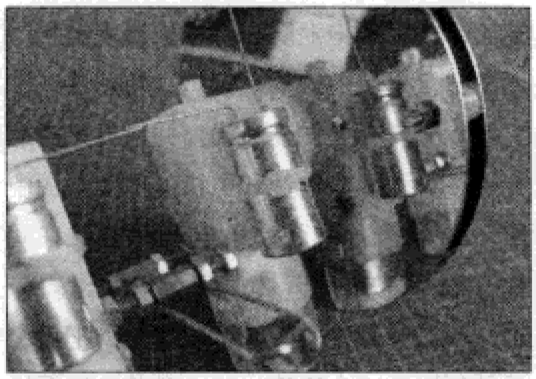
3 将2.2kΩ电阻一端焊在LED正极，剪去多余管脚。另一端焊接在NPN三极管的集电极，管脚留长点，用来连接电机。PNP三极管的发射极为电源正极和电机的另一端。



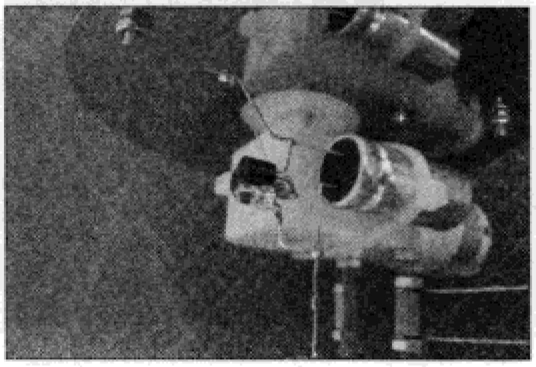
4 这样焊接好的模块非常紧凑、小巧，图示为放在一枚一角硬币上的比例参考。机器人需要两个这样的模块。



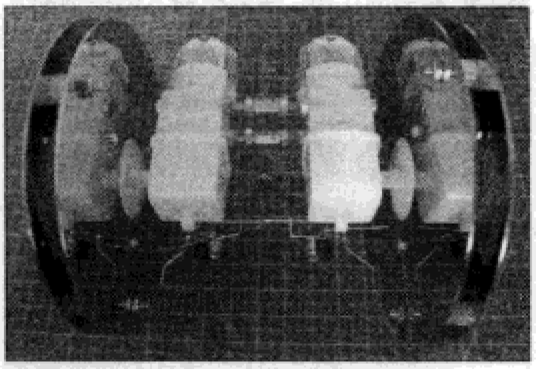
5 两只4700μF的储能电解电容用尼龙扎带绑在电机减速箱的下侧。为了美观，我剥去了电容的塑料皮。电容的负极两两相对，焊接在一起，作为公共地线。



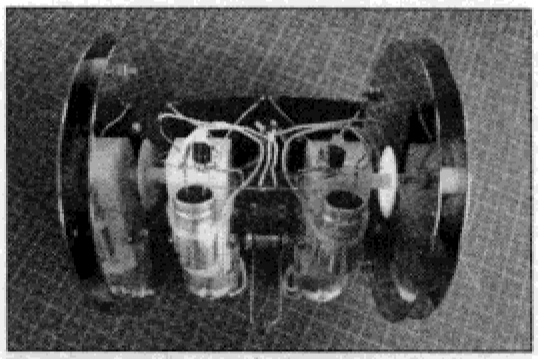
6 模块焊接到一侧电容上的示意。因为事先已经把模块的功能脚留出足够长度，在焊接的时候可以弯个小钩子，搭在电容上焊好，方便拆装。如果在调试的时候觉得一只电容不够劲，还可以在电容上用砌墙的手法并联更多的电容，增加储能。



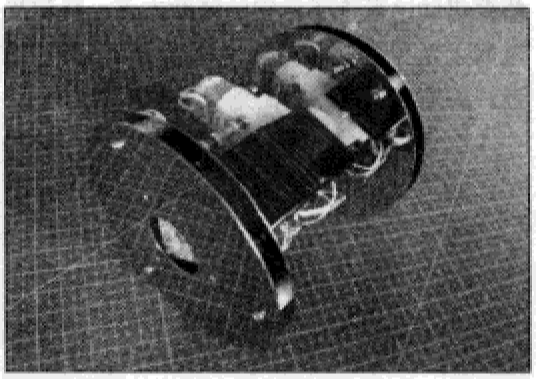
7 都焊好的样子。这个装置从机械部分到电子部分都是完美对称的。



8 机器人底部的样子。电机和模块之间可以使用硬盘电缆劈开的导线连接，多余的导线折叠好塞在尼龙扎带的缝隙里。



9 最后，用硬质导线将太阳能电池安装在机器人顶部。硬质导线定型效果好，电池可以不考虑其他的固定措施。这样只要互换电池的位置，就可以改变机器人的行为。



结论

很明显，这不是一个实用的作品，我更想把它看成是一个会动的电子雕塑。这个作品要表现的是人造物与自然的关系。虽然它结构和原理非常简单，但是已经具备原始生命的特征了，太阳能动力相当于光合作用，追光也是生物的本能。在严格意义上，这个“硬盘动物”比中学生物课上讲到的单细胞藻类可要复杂多了。

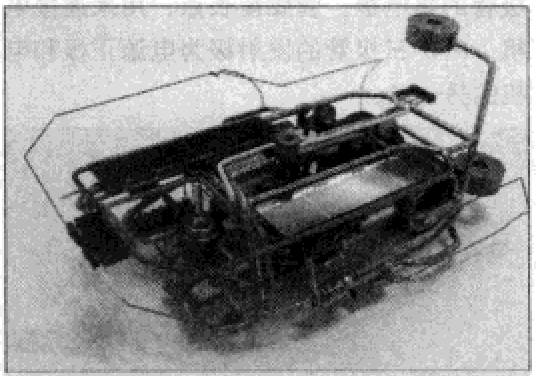


图5 Mark Tilden用电子垃圾制作的世界第一个BEAM机器人

硬盘除了盘片，其他部分的材料也有很大利用价值。比如壳体可以制作机器人小车的底盘、电子舱、音响爱好者的“胆床”，马蹄形线圈和磁铁可以制作太阳能动力的电磁摆，电路板上的元件用热风拔焊台拆下来还可以再利用。

对于制作爱好者来说，“等米下锅不如找米下锅”。文中的硬盘只是给大家一个提示，其实很多材料都可以做出漂亮好看的车轮，比如录像机的磁鼓、卡座的飞轮等。读者从本文也可以体会到，电子垃圾的再利用并不是一件易事，对一个材料的改造甚至超过了直接花钱去买一个现成的。很多时候为了迁就材料的特征，不得不在设计上做一些改变。这些都增加了挑战，不过DIY的乐趣也正在于此啊！

文末补充一个BEAM机器人的创造者Mark Tilden用电子垃圾制作的作品（见图5）。这是公认的第一个BEAM机器人，制造于1989年，材料取自一台报废的录像机、一只卡座、一个太阳能计算器和一个祝你生日快乐的音乐芯片。

SolidWorks
帮你完成机器人设计
1

零件的三维建模

◇李伟

机器人爱好者，大家好！我是机器人天空的moren，这次想和大家分享一款能帮助咱们设计、制作机器人的软件，让我们跟那些漫天要价的商家说拜拜吧！

现在，我们不买零件回家也能设计自己的机器人，不用担心最初的设计失误而多买了材料，能省下一大笔钱，缓解一下我们那沉重的预算压力。计算机辅助设计为我们带来了这福音。也许你听说过一些计算机辅助设计软件，比如Pro/Engineer、UG（Unigraphics NX）、3DS Max等，但是Pro/Engineer门槛太高，UG的界面不和谐，3DS Max显得不专业，我推荐的是SolidWorks。为什么用SolidWorks呢？主要是因为它简单实用，非常容易接受。

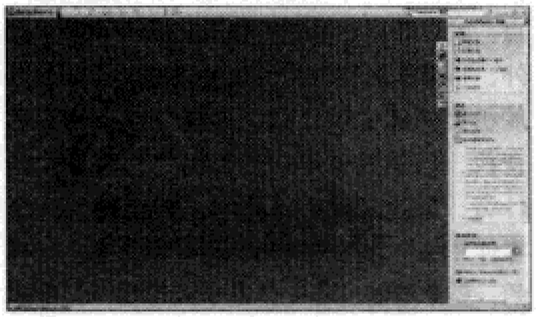
很早以前我就想写这篇文章，因为经常看到论坛里有人抱怨："哎呀，机器人编程还好拿来在网上交流，硬件就没办法了。"不在同一地区的人，根本没法交流自己机器人硬件部分的设计，光靠文字叙述实在太困难啦，赶上像我这么偏科，语文经常不及格的那就更是灾难！怎么办，难道我们就干耗着？或者各干各的？当然不了，有了这款软件，即使你的伙伴身在地球的那端，也可以跟他交流！

首先我要说，我是小白，还没完全弄明白这款软件，因为它实在是太强大，内容太多了，我只是把它当工具用，只要它能帮我设计机器人就可以。这显然有点不严谨，但是我就是本着娱乐的目的来学它和用它的。即使你以前没学过三维制图，没有任何概念都没关系，凭着本能就能开工啦。假如你卡在某个地方，鼠标停在一个按钮上一段时间后，软件会自动给你介绍它的用途，有时还会给你展示几个例子，让你更容易理解。我就是想列几个简单的例子，跟大伙展示一下这软件的功能，目的就是"勾引"你学它。如果你愿意深入学习的话，那就买本教材来看好了。

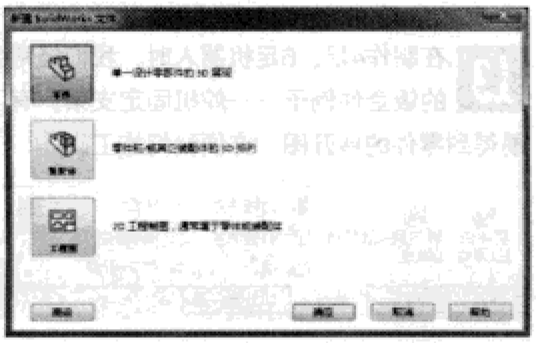
我想分三部分来展示这款软件，第一部分就是零件的三维建模，第二部分是装配体，第三部分就是运动和有限元分析。我能力有限，但会尽力展示得详尽点，好让大伙对它有个了解。

在学习这款软件前，你最好有机械设计、制造的相关知识，那看起来就更顺畅了，当然没有也可以，咱们可以边玩边学！

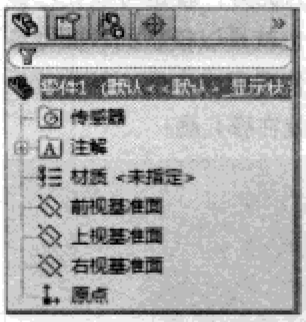
01 所有的机械都是由零件组成的，所以我们就从最基本的零件开始。首先打开软件，你会看到这个界面。"怎么回事，这是啥啊？"大家不要激动啊，这个软件打开就是这样，什么都没有。这时请点击上面那个白纸图标——"新建"。



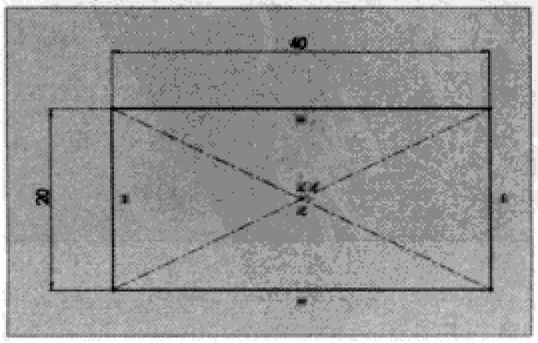
02 此时就会出现这个很和谐的对话框，选第一个，就是咱们要做的零件啦！如果是第一次打开SolidWorks，它会引导你怎么去设置它，一般教材里都有，我这里就不再详细介绍了。



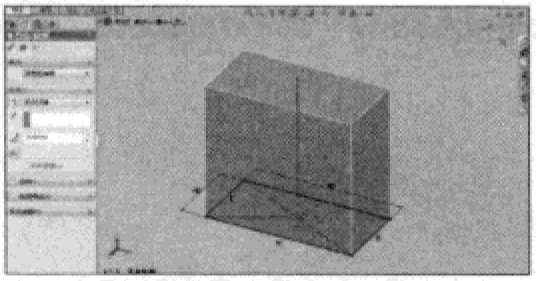
03 打开零件图以后，就会出现一大堆东西，先不急，介绍个最重要的东西——FeatureManager设计树。这个设计树是相当重要的，在你的整个设计当中，会给你很多提示信息，显示你每一步编辑的内容等，我会在后面的实例中展示它的用法。



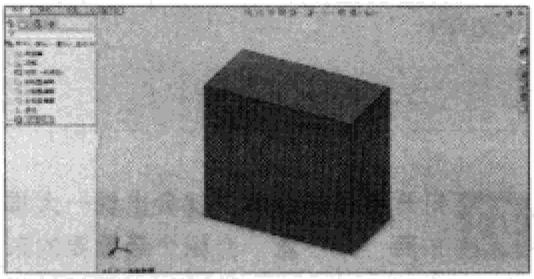
04 之后就可以在绘图工具中绘图，首先就拿我身边的一台盛辉SG5010舵机做示范吧。在上视基准面画草图，是一个长方形，图中绿色的部分是一些图形的几何关系，大部分是自动添加的，但是有时候这样会导致草图过定义，自己看情况删除就好。



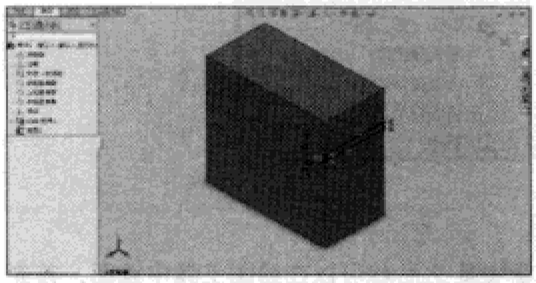
05 拉伸，这是一种叫做特征的东西，还有与之类似的旋转凸台、扫描放样等，都是用来三维建模的，慢慢你都会熟悉他们的。



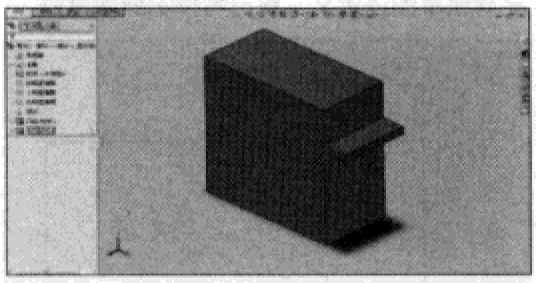
06 怎么样，一下就有点立体的感觉了吧？之后的步骤就像是捏橡皮泥或者是切塑料泡沫板一样，非常有趣。



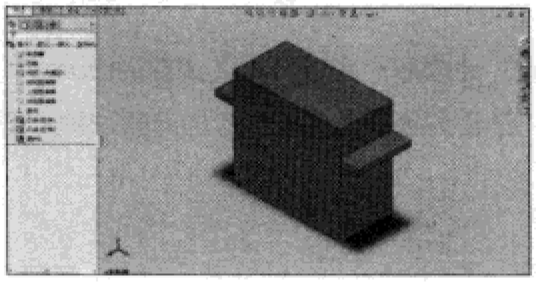
07 画舵机的固定部分，此时就凸显出SolidWorks的优势，就是可以在已建模型的表面作图，也就是以模型的表面做参考面来作图。这样作图相当方便，基本就是想在零件哪儿画，就在哪儿画！



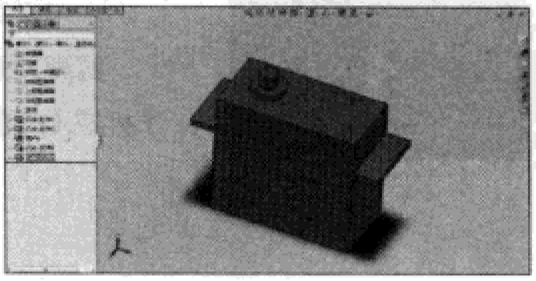
08 还是拉伸。



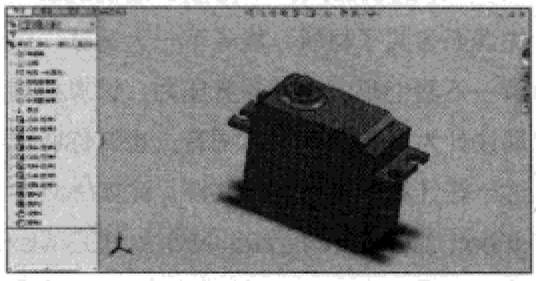
09 再一镜像，舵机两边的固定部分就画完了。



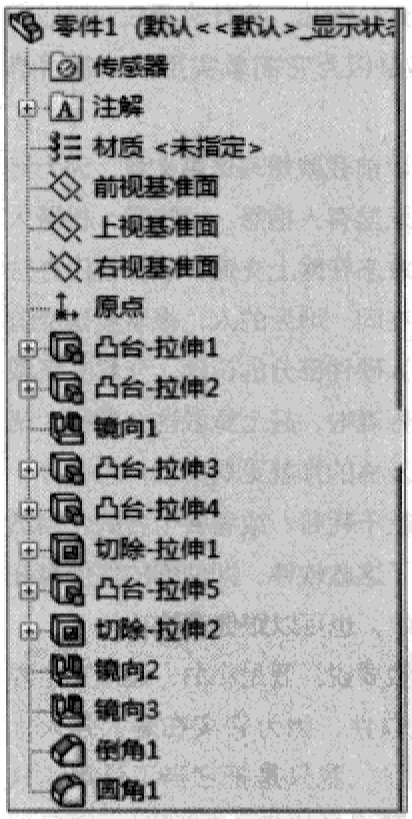
10 画舵机的输出轴，还是在已有的模型表面作图，和前面一样简单，一样顺畅。



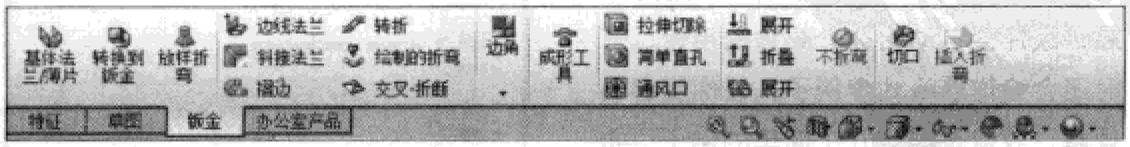
11 现在差不多有型了吧？来点倒角，再打点孔，就完成啦！怎么样？很简单吧？假如你操作熟练，再加上实际舵机的外形参数，建这么个小零件，只会花大概十几分钟的时间。



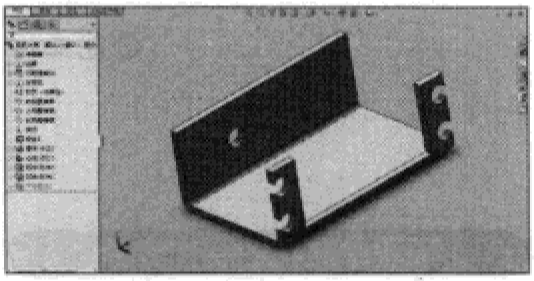
12 现在再看看你的featureManager设计树，里面包含了你的每一个作图步骤，而且只要在对应特征名称上用右键一点，就立即能对其进行修改，太方便啦！此外，特征的名称也是可以修改的，比如改成舵机具体部位叫什么，这样可以方便日后查找，但是我也不知道我画的那个具体叫什么，就没法改啦，呵呵。即使是同一个零件，每个人的设计树也不一定是完全一样的，整个绘图过程完全是个人习惯，但是还是有一定规则的，按规则办事总是能少费点功夫，比如倒角要放到最后，否则影响你选择基准面什么的。



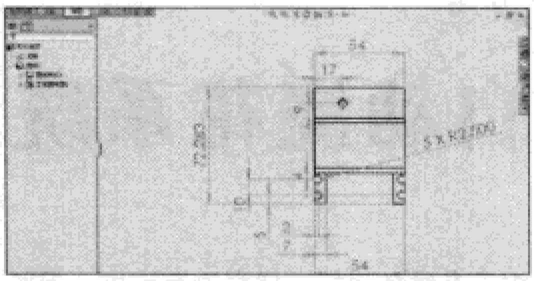
13 在制作4足、6足机器人时，我们经常会遇到钣金件，下面再举一个机器人制作中经常做的钣金件例子——舵机固定支架。有了SolidWorks里面的钣金设计这个工具，我们很容易得到零件的展开图，方便我们施工。



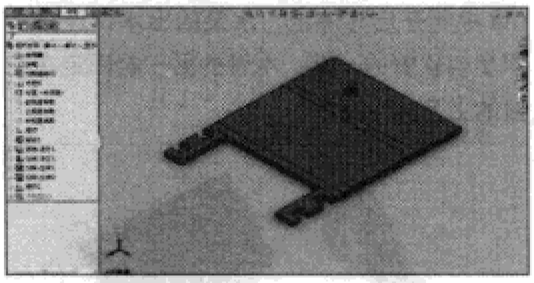
i4 用钣金工具中最基本的“基本法兰/薄片”和“边线法兰”按钮就可以画出这个简单的舵机支架，在此不多说，下面才是见证奇迹的时刻！



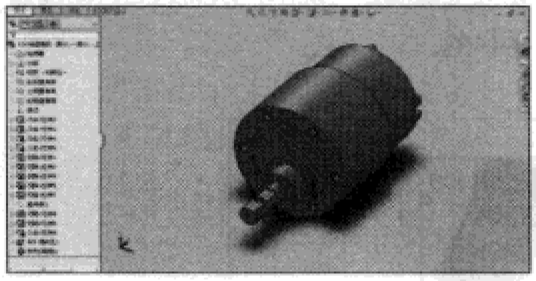
i5 怎么样，效果不错吧？SolidWorks钣金设计中就有这么个神奇的功能，可以把我们设计的钣金件直接展开。



i6 还有更刺激的：通过转换成工程图，自动添加尺寸后，我们就可以得到这个图。只需短短10秒钟，一切都OK！怎么样？以前我们在图纸上量来量去的，已经弱爆了，如果你有打印机的话，可以直接把这张图纸1:1打印出来，贴在铝板上，然后直接沿轮廓开锯，按照图示的折线弯折，直接得到零件。



i7 好，就展示这些，其实真画起来，内容还是很多的，已经有兴趣的朋友可以看看专门的教材，里面会详细地教你怎么去画。我又随手画了一个12V减速电机，只要你稍加练习，一周之内，保证你也能画出想要的零件！



再说点，每个零件都有“基准”，也就是从零件的哪部分开始画起。只要你画多了，一眼就能看到，找到基准还要有自己的设计意图，因为每个人认识零件的角度不一定是相同的。比如同样一根轴，可以画圆拉伸，也可以画素线回转得到，不同的设计意图，有不同的作图方法，都是对的。当然，还应考虑零件的实际使用情况，再细说就复杂了，初期嘛，没必要知道那么多。

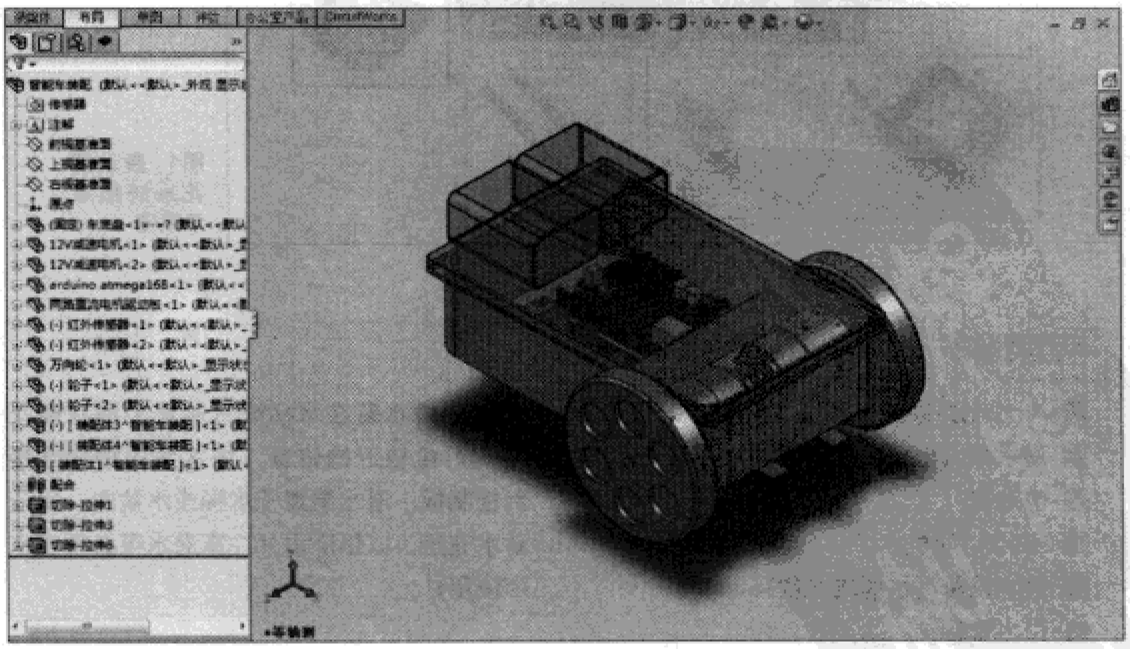
根据我的使用经验，为大家提几点小建议：

（1）草图绘制中，几何关系最好选择自动添加，这样作图会很快，不过也会带来些麻烦，偶尔会使草图过定位，但是对于小白还是打开的好。

（2）拉伸回转等特征编辑时不要使零件“堆叠”，这么说不知道对不对，我不知道专业怎么叫，这么说吧，比如我们画的舵机的输出轴，拉伸的草图要在零件最上面那个面开始画，不要在上视基准面画了，再拉伸好长一段距离，这主要是考虑后期作结构有限元分析画网格时候，如果你的零件是“堆”在一起的话，就会很麻烦，甚至根本就画不出网格。所以一开始我们就要养成良好的作图习惯。

（3）作图要干净。“搞笑！又不是在纸上拿铅笔画！”各位朋友请注意，在软件中作图也要工整，一来方便自己和别人以后看你的设计，二来要是你在草图上乱点的话，说不定哪个小点找不到，就没办法编辑其他拉伸、切除等特征，电脑会反复提示错误，直到你崩溃！

好了，暂时想到这么多，说得比较肤浅，只是为了演示，保不齐有错误的地方，还请高手多多指教。有兴趣的朋友可以到机器人天空网论坛来找我，也可以在我那冷冷清清的博客（http://blog.sina.com.cn/moren1599）里留言，增加点点击率。另外一篇文章我们会聊聊装配图，很有意思的，就像小时候组装四驱车一样。感谢阅读本文！



我的另一篇文章我会展示一个简单的循线小车的装配过程，提前预览一下。

花园管家
基于Arduino的自动浇花系统

◇范亚运

随着人们生活节奏的加快，即使是给最爱的花草浇水也往往无法顾及，如何营造一个美丽的绿色家园是现代都市生活的烦恼。如果家里不种花草，回到家里会感觉枯燥乏味。偶尔出差、旅行、探亲是很正常的事情，而家中的花草谁来管？花草生长问题80%以上是由浇灌问题引起：好不容易种植了几个月的花草，因为浇水不及时，长势不好，用来美化家园的花草几乎成了“鸡肋”，不种植吧，家中没有绿色衬托，感觉没有生机，保留吧，花草长得不够旺盛，还影响家庭装饰效果。对于广大DIY爱好者，我们要介绍一款可以自己动手组装、编程、设置参数的自动浇花控制器，如图1所示。它是一款基于Arduino的控制器，使用土壤湿度传感器对土壤湿度进行监测，通过温湿度传感器对室内温度、湿度进行测量，控制水泵或电磁阀进行浇水，从而达到自动浇灌的目的。

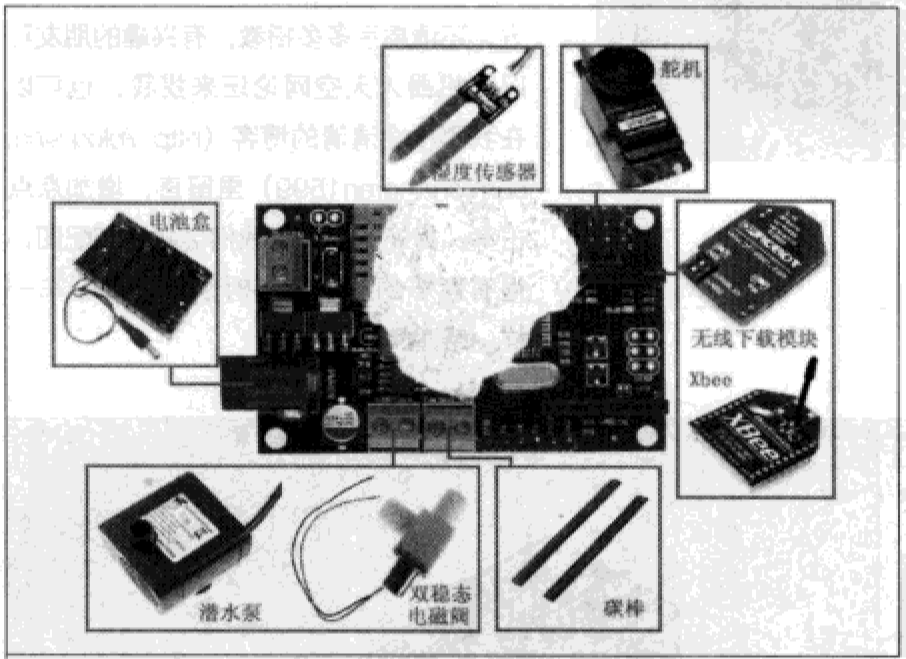


图1 自动浇花系统组装示意图

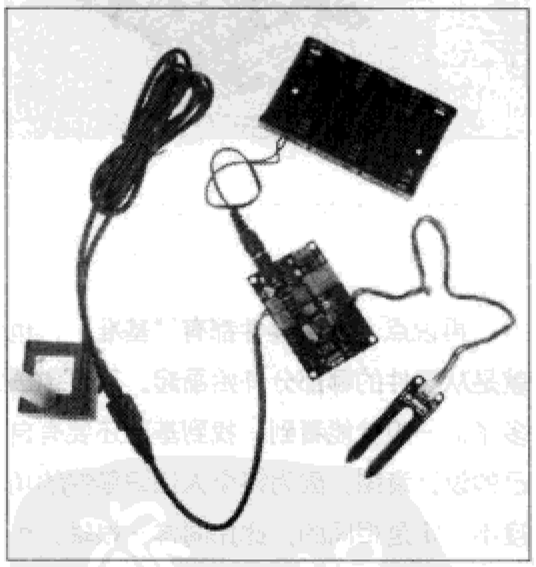
所需器材

- Arduino自动浇花系统控制器
- 潜水泵（也可选择电磁阀）
- 电池盒
- HS-311舵机
- 储水设备（水桶或水盆）
- 引水管1m
- 土壤湿度检测传感器Moisture Sensor（也可选择碳棒）

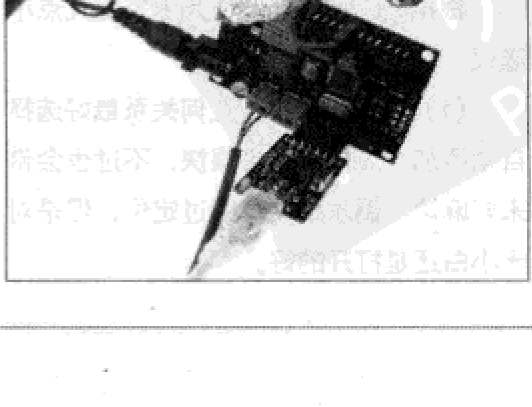
浇灌单盆花的制作步骤

1. 将土壤湿度检测传感器Moisture Sensor连接到Arduino自动浇花系统控制器的任意可用模拟口，用于采集土壤湿度参数。选择不同的模拟口，程序中需对应设置，这里我们选择模拟口3。

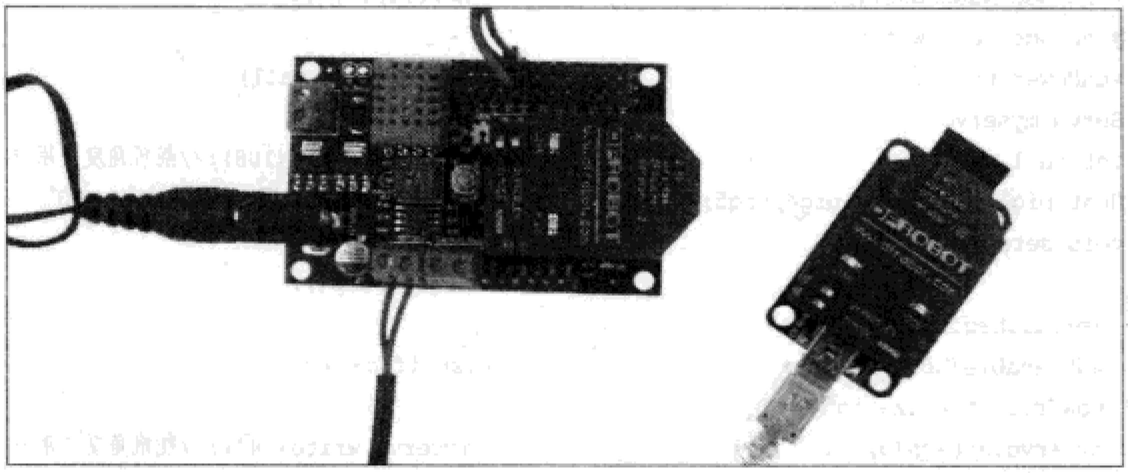
2. 将水泵连接到控制器的MOTOR插座上，注意区分正负极，由数字口5、6来控制开启与停止，水泵的出水口连接引水塑料软管的一端，水管的另一端固定在花盆的上方。



3. 将水装在水桶或水盆里，放在离花盆较近的位置，将水泵接线端连接到控制板，潜水泵置于水桶或水盆内，保证蓄水充足，以供浇水（注意潜水泵必须在水中使用）。



4 Arduino自动浇花系统控制器上设有Xbee接口，可以用Xbee无线模块进行数据的无线传输，这样，用户便可以轻松在室内用电脑观测到实际数据。将配对设置好的Xbee模块的其中一块直接插到控制器的Xbee接口上，另一块插到Xbee适配器上，与电脑连接。



5 连接好各部件之后，给控制器通电，系统便开始工作了。

程序代码

```
#include <sunflower.h>  //我们提供的库函数
#define MoistureSensor 3 //湿度传感器端口3~7
sunflower flower;
void setup()
{
  Serial.begin(115200);//波特率115200
  flower.Initialization();//初始化主控制器，默认选择湿度传感器和水泵
}
void loop()
{
  flower.SerialSet(MoistureSensor);//检测上位机修改参数命令,读取土壤湿度值
  flower.process();//室内温度、湿度检测
  flower.Potentiometer();浇水阀值读取
  flower.print();//输出室内温度、土壤湿度、室内湿度、土壤湿度阀值、传感器和驱动器参数
  delay(500);
}
```

图2 flower’s life软件的界面

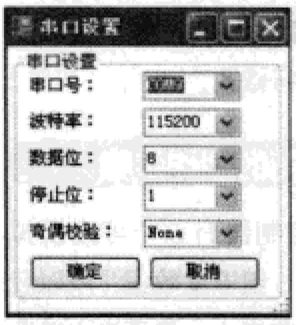


图3 串口设置

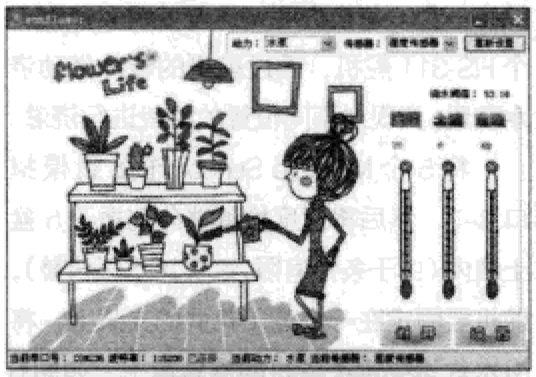


图4 检测当前土壤湿度以及室内温湿度

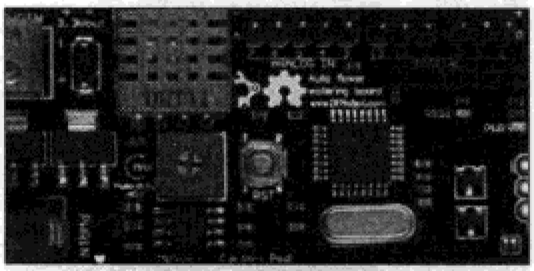


图5 转动箭头所指的电位器旋钮，软件上的浇水阈值会随之改变

配套程序实现了从上位机软件选择湿度传感器（湿度传感器或碳棒）和浇水形式（潜水泵或电池阀），同时返回土壤湿度、室内温度、室内湿度等参数到上位机上显示的功能。

为了能方便用户观察土壤湿度及室内环境的参数，我们还开发了flower's life这款软件，通过该软件把土壤湿度和环境温湿度数据呈现在我们面前。flower’s life软件的界面如图2所示。

该软件主要是通过对串口数据的监听，实现对当前控制器串口返回的土壤湿度和室内温度、湿度等参数的读取。其读取时间不定，该软件会自动监测串口数据的接收并自动读取，不会在没有数据的时候随意读取，避免了部分数据读取冲突所造成的错误。

自动浇花控制器使用附带的程序下载器连接到电脑上，即可和上位机软件通信。通过这款软件，能对启动浇水的动力和湿度传感器进行选择，点击设置，选择当前串口端口号和通信波特率，串口请到设备管理器中查看，默认波特率为115200，如图3所示。

设置好后，单击“链接”按钮，我们就可以看到当前土壤湿度以及室内温湿度的情况了，如图4所示。

不同的花草，对土壤湿度的需求也不尽相同，我们可以根据自动浇花控制器上的湿度调整电位器来改变浇水阈值，以适

应不同花草对土壤湿度的需求。轻轻转动电位器旋钮（如图5所示），软件上的浇水阈值也会随之发生改变，这样，我们就能根据花草的最佳生长状态调节一个适合的浇水阈值了，浇水上限在程序中修改即可。

另外，如果环境温度过高，花草也不宜浇水，否则可能会导致花儿枯死。浇水的温度阈值可在程序中进行设置，默认为35℃以上不启动浇水系统，用户也可以根据自己的意愿进行修改。

浇灌多盆花的制作步骤

该自动浇花控制器有5个可用模拟口，最多可以读取5组湿度数据，所以我们可以同时给5盆花浇水。但是浇水装置只有一个，怎么办呢？这里就需要用到一个HS-311舵机，通过舵机的转动带动浇水装置。实现对不同位置的盆栽进行浇灌。

将5个Moisture Sensor连接到模拟口3~7，然后将湿度检测端分别插于5盆土壤内（由于条件有限，这里用水杯代替）。舵机要固定在一个高于花盆的支架上，将引水软管绑定在舵机的旋转盘上，如图6所示。其他连接与浇灌单盆花相同，下载程序例程，就可以给多盆花浇水了。

浇灌多盆花的程序，要让控制器循环采集每个湿度传感器的值，并和预置阈值进行比较。如果某个传感器的值低于阈值，那就控制舵机转到相应的角度，然后打开潜水泵或电磁阀进行浇水。

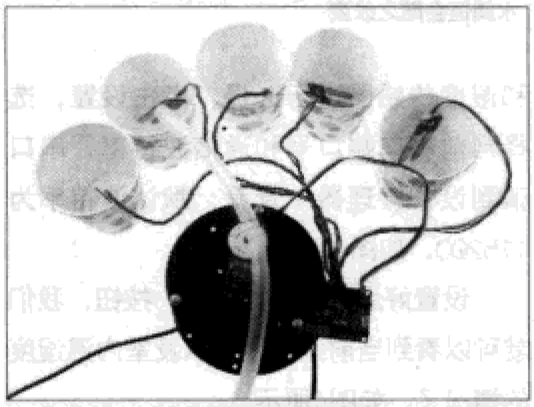


图6 浇灌多盆花的连接方法

■ 相关程序请到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载

程序代码

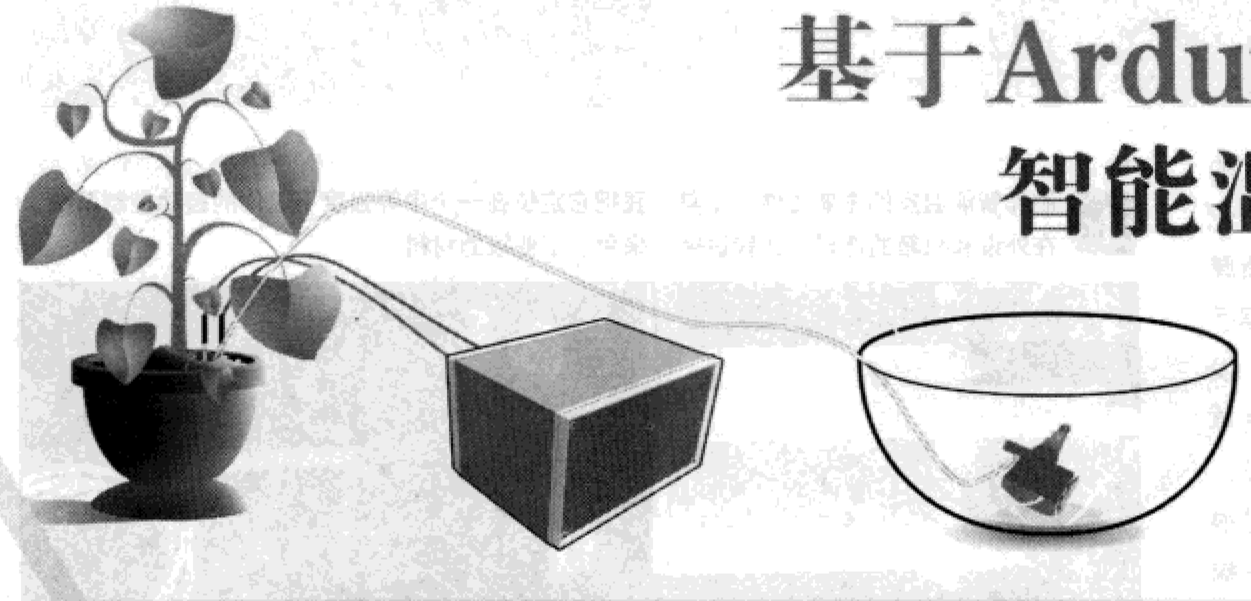
```
#include <Servo.h>
#include <sunflower.h>
#include <avr/wdt.h>
sunflower flower;
Servo myservo;
int val1,val2;
float pig1,pig2,pig3,pig4,pig5;
void setup()
{
 Serial.begin(115200);
 wdt_enable(WDTO_4S);
 flower.Initialization();
 myservo.attach(9);
 myservo.write(36);
 delay(100);
}
void loop()
{
 val1=0,val2=0;
 pig1=0,pig2=0,pig3=0,pig4=0,pig5=0;
 delay(100);
 val2=flower.process();     //室温值
 pig1=flower.moisture(3);  //湿度1
 pig2=flower.moisture(4);  //湿度2
 pig3=flower.moisture(5);  //湿度3
 pig4=flower.moisture(6);  //湿度4
 pig5=flower.moisture(7);  //湿度5
 val1=flower.Potentiometer();//浇水阈值
 //val2=flower.process();
 if(val2<35)
 {
  if(pig1<val1)
  {
   myservo.write(36);//舵机角度，用户
   请根据实际情况设置，范围为10° ~170°
   delay(500);
   flower.pump();//开启水泵浇水
  }
  else if(pig2<val1)
  {
   myservo.write(72);//舵机角度，用户
   请根据实际情况设置，范围为10° ~170°
   delay(500);
   flower.pump();
  }
  else if(pig3<val1)
  {
   myservo.write(108);//舵机角度，用户
   请根据实际情况设置，范围为10° ~170°
   delay(500);
   flower.pump();
  }
  else if(pig4<val1)
  {
   myservo.write(144);//舵机角度，用户
   请根据实际情况设置，范围为10° ~170°
   delay(500);
   flower.pump();
  }
  else if(pig5<val1)
  {
   myservo.write(170);//舵机角度，用户
   请根据实际情况设置，范围为10° ~170°
   delay(500);
   flower.pump();
  }
  if(pig1>50&&pig2>50&&pig3>50&&pig4
  >50&&pig5>50) flower.offpump();
  //关闭水泵
  flower.print();
  Serial.print(pig1);
  Serial.print(",");
  Serial.print(pig2);
  Serial.print(",");
  Serial.print(pig3);
  Serial.print(",");
  Serial.print(pig4);
  Serial.print(",");
  Serial.println(pig5);
  delay(500);
 }
 wdt_reset();//看门狗复位，防止意外死机
}
```

看到这里，您是不是也跃跃欲试了呢？有了这个系统，花草渴了，系统会自动启动水泵浇水，而不用您亲自浇水，也不会浇水过度了。对于喜欢养花的Diyer来说，既享受了花朵的芬香，又完成了一项不错的DIY作品呢。

套件信息（295元+15元运费）

本套件本刊发行部代售，含主控板1个、USB下载器1个、土壤湿度传感器1个、潜水泵1个、橡胶管1m、6-节电池盒1个、mini USB线1根、电子文档、上位机软件。欲购者可汇款到本刊发行部或登录本刊淘宝店boqu.taobao.com。

基于Arduino的自制智能温室控制器



◇臧海波 ◇插画：刘少冉

《花园管家》一文看了吗？其实那就是现在概念很火热的“物联网”应用了。现在我再为大家介绍一款同样基于Arduino，但不使用套件，而是完全自制的智能温室控制器，功能比自动浇花系统还多哦！

每年的夏天都是养一些花花草草点缀一下单调的工作室的时候。但是我平时很少在家，人又比较马虎，总是忘记浇水保湿这类小事情，于是就制作了这台智能温室控制器，让传感器和控制器帮助我来完成这些单调的工作。

许多和我一样，从20世纪80年代起就喜欢无线电制作的读者，提起花盆缺水指示器这类电路一定会感到很亲切。实际上，用LM324或NE555这些常见的集成电路和传感器就可以做出性能不错的温室控制器，但是它们的缺点也非常明显，技术过时、参数调节困难、运行数据很难监控和记录。

我制作的这台温室控制器，有5个特点：

1．检测环境光线，控制组培灯给植物补光。

2．监控植物土壤湿度，控制水泵进行滴灌补水作业。

3．监控环境温度，温度过低时可通过LED报警，可扩展为继电器输出。

4．串口数据输出，可以通过计算机和软件监控智能温室的工作状况。

5．采用开源硬件，工程代码在网上共享并随时更新，详见原始设计者Luke Iseman发布的页面http://makezine.com/18/garduino/。

对于一个单片机项目，我最大的体会就是：即使板卡级的试验在工作台上全部编程测试通过了，拿到实际使用环境中，搭建好应用系统，在运行中还可能遇到各种各样的问题。很大一部分原因是因为市场上流行的单片机开发板都是按试验级标准设计和制作的。为了使它们可以在比较复杂的环境（电源和电磁干扰、高负荷运转）中稳定工作，必须按工业级的标准进行一些升级。下面就是我在实践中的一些想法和制作过程。

所需工具：

电钻、M3.2钻头
焊接工具
万用表
钢锯

所需材料

Arduino UNO M328控制板、USB电缆	1套
联网的电脑	1台
12V稳压电源	1只
9V稳压电源	1只
小型工业机箱	1只
MY4N-J欧姆龙中间继电器，配插座	2套
5mm光敏电阻	1个
10kΩ热敏电阻	1个
10kΩ电阻	5个
330Ω电阻	3个
1.5kΩ电阻	2个
100kΩ电阻	2个
3mm 红色LED，配座	1个
4N35光耦合器	2个
洞洞板	1片
2N2222三极管	2个
1N4007二极管	2个
M3尼龙螺丝/螺母、套管	适量
导线	适量
车条	2根
热缩管	1小段
水泵	1个
塑料软管	1根
电源插线板	1个

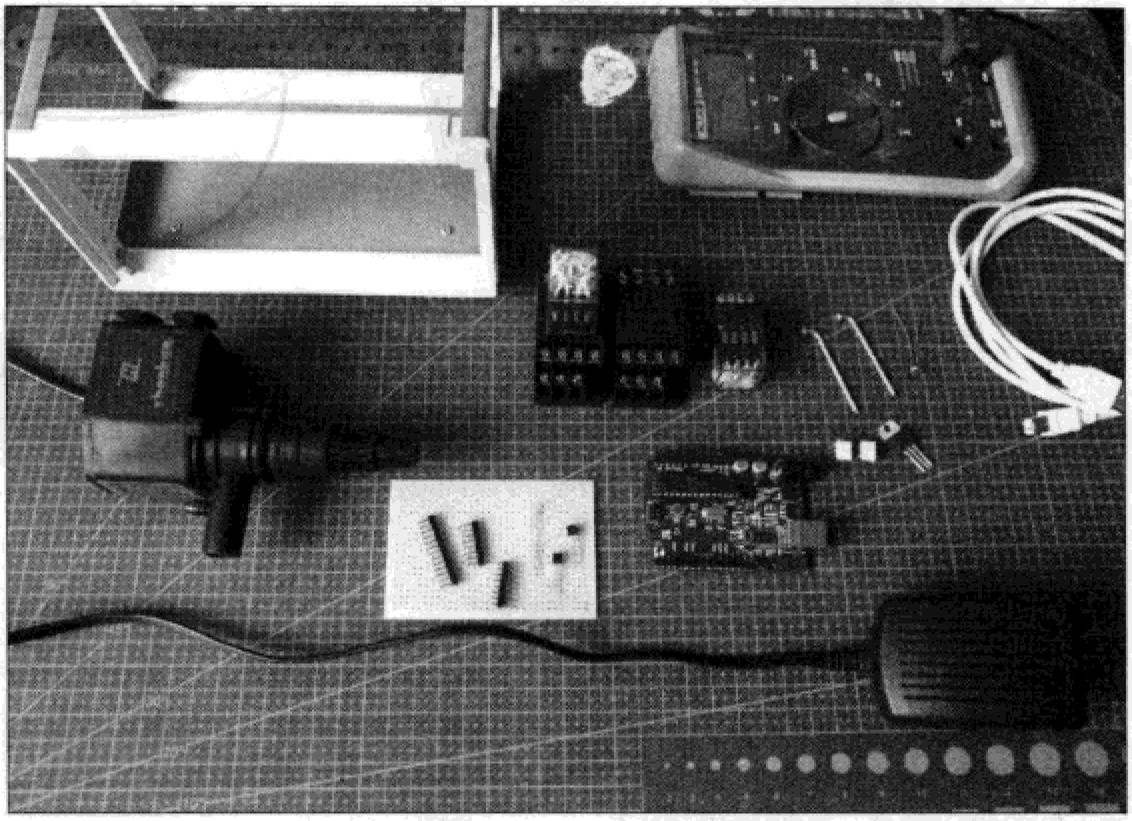
制作过程

Arduino的优点很多，我认为最大的优点是降低了开发者对硬件层的了解，你完全不需要像工程设计人员那样去啃厚厚的一本AVR ATmega328单片机的数据手册，也不需要对着官方的AVR STUDIO发愁自己不懂汇编，就可以轻松玩转这片单片机。但是UNO控制板也有一个小缺点，就是它的扩展端子的布局兼容性不是很好。UNO板子上方左侧I/O口的8至AREF端子是错开1.27mm的，如果用插针和常见的焊盘间距为2.54mm的洞洞板在控制板上面叠加自制的板子，这部分的插针是无法与控制板的端子妥善接触的。而第8、9、10脚的利用率又比较高，不可能省却这一组端子。

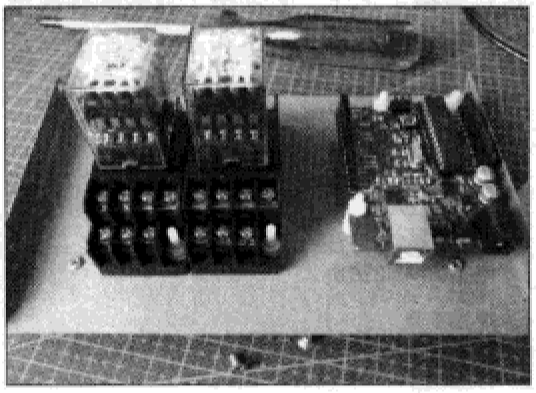
我想，这个问题很可能是原始设计者为了保持其设计的一致性考虑的。简单说，就是你可以不加改动地使用他的开源硬件，但是在扩展板上也不得不跟着他的步调走。实际上，一块能和UNO的扩展端子很好搭配的传感器扩展板或继电器扩展板价格都很高（30元左右），对于我这样痴迷动手又不舍得花钱的玩家来说就比较奢侈了。如果要我来开发（改造）UNO，我会把它的扩展插座换成标准间距的插针，并在每组I/O插针附近都配上一对+5V和地线的插针，这样使用者就可以直接把控制板当做一块计算机主板，在它上面用杜邦线来接外设了（比如各种传感器或者舵机），不需要任何中间的物理介质。可喜的是，在UNO的升级版本NANO中，设计者把板子的插座换成了标准间距的双列插针，这使得扩展NANO的端子很容易。这台温室控制器也可以使用NANO来制作。

开源硬件的魅力，大家想必都已经很了解了。把开源硬件放在一个同样是开源的实用项目里，借助网络，世界各地的制作爱好者就可以互相借鉴经验，就显得更加强大与好玩了。

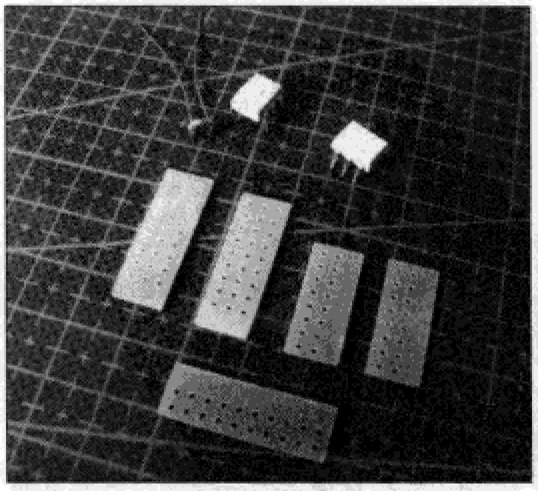
1 制作智能温室的主要元件、工具。我把它定位在一个中等强度下工作的自动控制系统，在外设和机箱的选择上比较讲究，采用了工业级的材料。



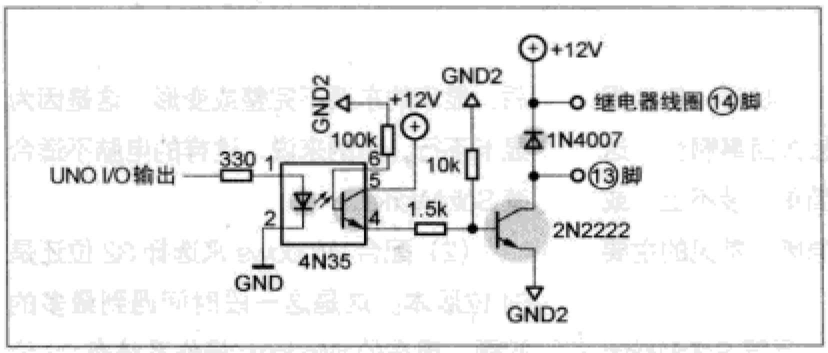
2 加工好机箱的底盘，将UNO控制板和继电器用尼龙螺丝固定在底盘上。工业继电器的用料和标注非常实在，绿豆粒大小的铜触点、5A/250V AC的容量使我觉得很踏实（一些拇指大小的PCB焊接式继电器竟然标称10A/250V AC，实在有点让人不放心）。继电器采用底座式安装，便于替换。此外，这种中间继电器内置有LED，可以直观地查看工作状态。



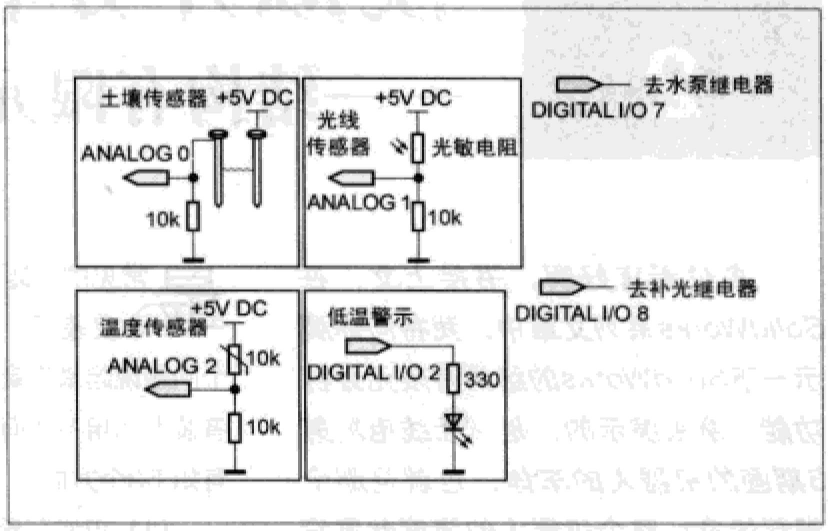
3 下面就是比较麻烦的环节了——制作传感器板和接口电路。Arduino的输出规格是5V/20mA，无法直接驱动继电器，而且作为一个对稳定度要求比较高的系统，还要考虑抑制干扰的措施，我采取的是地线分离供电和光耦隔离的方式。



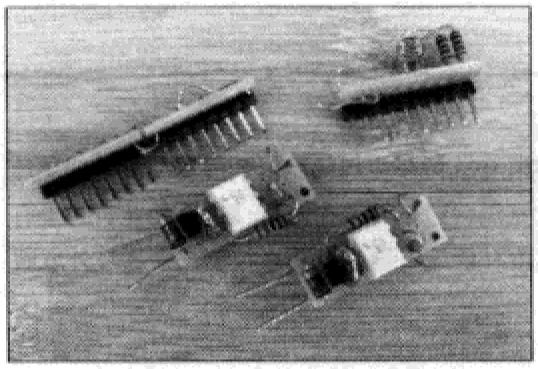
4 下图为一路继电器的光耦隔离驱动电路。UNO控制板使用9V稳压电源供电，继电器驱动电路使用单独的12V电源。使用线圈式机械继电器的另一个原因是我觉得继电器动作起来的“咔哒”声很酷。如果读者觉得这个电路过于烦琐，也可以采用固态继电器的方式来给UNO扩流。此时只需要把固态继电器的输入看成是一只LED，用UNO的I/O口串一只几百欧姆的电阻点亮就可以了。



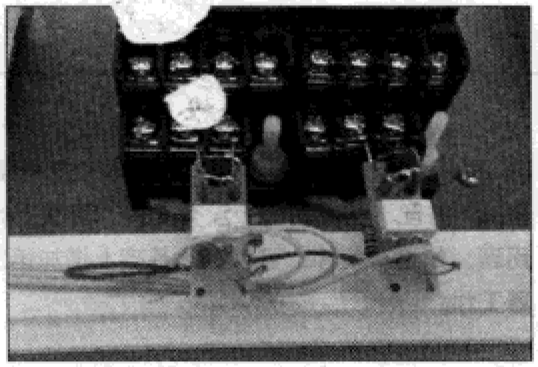
5 下图为UNO控制板上的端子定义和传感器的电路图。单片机电路结构的特点充分显示出来，非常简单。



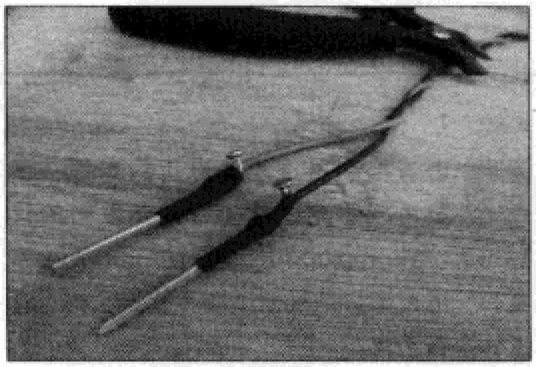
6 这是焊接好的继电器驱动板和传感器板。我采用独立模块式制作，每个小板的功能都是独立的，方便替换或以后扩充功能。



7 这是继电器驱动板安装在继电器座上的样子，这种模块化的安装方式很灵活，不会破坏继电器，也方便拆卸。模块可以重复使用在[illegible]制作中。

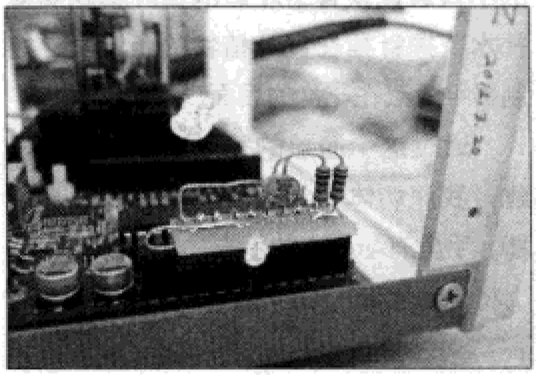


8 土壤湿度探针使用两根车条制成，用质量较好的导线焊接在车条尾部，并套上热缩管就制作完成了，几乎是零成本，使用起来却非常方便。



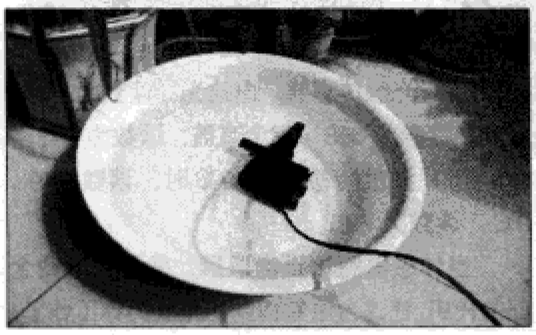
使用方法

1 光线传感器安装在机箱侧面，受光面不会直接被阳光或补光灯照到。工业机箱侧面有很多狭长的栅孔，合上机箱以后不会阻挡传感器的光线，实际效果非常好。



2 这是土壤湿度传感器工作的样子，探针插在花盆边沿的土里。车条尾部的弯头是个小把手的形状，可以很方便地把探针从待监控的土壤里插入或拔出。左侧探针附近的塑料管是连接着水泵的滴灌软管。

3 这是在脸盆里测试水泵的情形。我使用的是养鱼常用的冲浪泵，这种泵有两个出水口，滴灌软管连接在主喷口上面的一个小出口上，使其水量不会太大，以产生滴灌的效果。



SolidWorks
帮你完成机器人设计
2

模拟并分析你的机器人零件
——结构有限元分析功能

◇李伟

各位看官好啊，书接上文，在SolidWorks系列文章中，我将向你展示一下SolidWorks的结构有限元分析功能。拿来演示的，是《无线电》第3期画的机器人的车体，也就是那个塑料饭盒！整个机器人的强度就靠它了，所以我们就测试一下它到底有没有我们需要的那么强。当然，趁这个机会，还要谢谢各位读者对本系列文章的支持，在这里先谈谈关于SolidWorks使用的一些小问题。

最常见的问题就是：“哎呀，软件根本就装不上啊？怎么回事啊？”这个问题说起来还真是不简单，装不上，或者装上了用不了有很多原因，常见的主要有如下3个方面。

（1）电脑配置不够。尽管SolidWorks是专门为Windows开发的专业三维制图软件，本身对电脑配置的要求不高，但是确实有一些“老爷机”还真是跑着吃力。有的打开会很慢，有的甚至卡住不动，这些都与处理器有关。或者有的做一些特征后，显示的东西不完整或变形，这是因为显卡不行。总的来说，这样的电脑不适合装SolidWorks。

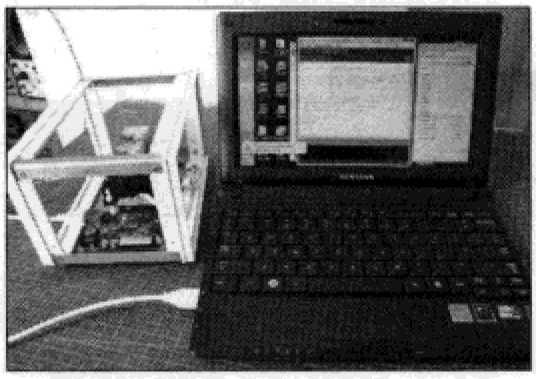
（2）配合Windows来选择32位还是64位版本。这是这一段时间遇到最多的问题，现在的Windows操作系统有32位和64位之分，而SolidWorks的版本也有32位和64位之分，要一致才行。

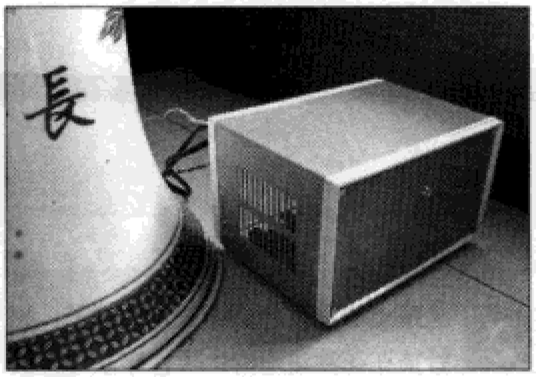
（3）缺少某些软件支持。比如有的朋友刚装完机，没有显卡驱动，或者缺少DirectX等处理三维图形不可缺少的软件也

---

4 告诉控制器谁才是真正的老板，下载传感器测试代码（最新发布的代码可去http://makezine.com/18/garduino/下载），通过串口监视器读取传感器数据，看工作是否正常。

6 合上顶盖以后的效果，靠近观众这一侧的栅孔里面就是光线传感器的位置。考虑到接线方便，机箱的后板没有安装。面板上的LED是温度过低警示指示灯，这个功能暂时没有用到。如果有条件，可以在此基础上增加第3只温度补偿继电器，用它来控制一台远红外取暖器工作。





5 以下是一组传感器实测数据，供参考：
（1）土壤探针：接触时，读数为-985，不接触时，读数为0。

（2）光线传感器：自然光，读数为949，夜间，读数为658，完全遮盖，读数为343。

（3）温度传感器：32℃时，读数949，0℃，读数为796。

当传感器测试正确以后，就可以下载全部的代码，让这台温室控制器正式为你工作了。

作为一个在家居环境下工作的电气设备，我认为最好的效果就是不要太显露出技术化的痕迹，否则满眼的水管和电线，就违背了借植物来调节心情的初衷了。最后一张图中是温室控制器实际工作的环境。水泵安置在假山石下面的水缸里，它工作时通过主喷口给假山淋水造景，顺带加湿周围的空气。主喷口上面的小口通过软管给左边的赏叶植物滴灌补水，探针插在赏叶植物的土壤里，控制器平时藏在花盆的后面。

通过这个简单的智能温室系统的搭建，我深切体会到了自动化的高效与便捷。手里有Arduino的朋友，还等什么，马上将自动化带入你的生活吧！

不行，都要装上才能打开 SolidWorks。

还有其他不常见原因在这里就不说了，大家可以上网搜索。

有完美主义者会问："我这个软件打开后怎么跟你不一样啊，你那到底是什么版本的？"咱们用的都是SolidWorks 2010啊，显示得不一样，是因为有些细节可以自己设置，比如工具条是可以拖来拖去，背景是可以换的，模型外观也可以编辑，请自己摸索吧，都很有意思的。

下面言归正传，说有限元的事。

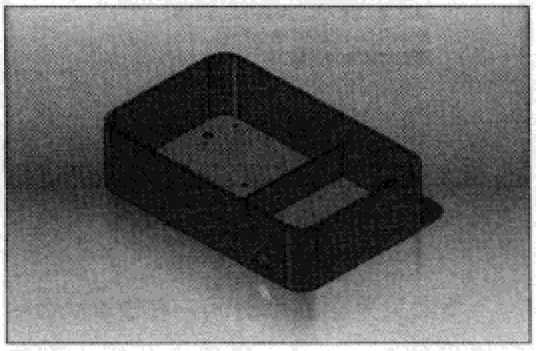
首先，解释一下什么叫有限元分析。这是个很复杂的数学问题，一个简单的分析计算量也会大得惊人，这在没有计算机之前是难以实现的。下面是百度百科里的解释：有限元分析（FEA，Finite Element Analysis）是利用数学近似的方法对真实物理系统（几何和载荷工况）进行模拟。利用简单而又相互作用的元素，即单元，就可以用有限数量的未知量去逼近无限数量未知量的真实系统。

也许你还是不太理解，没有关系，因为有的人一辈子都在研究它，还是不敢自称精通这个，我就更是只懂点皮毛了。举个简单的例子，就是用计算机模拟零件实际受力情况，分析其强度，当然还能分析其他的内容。

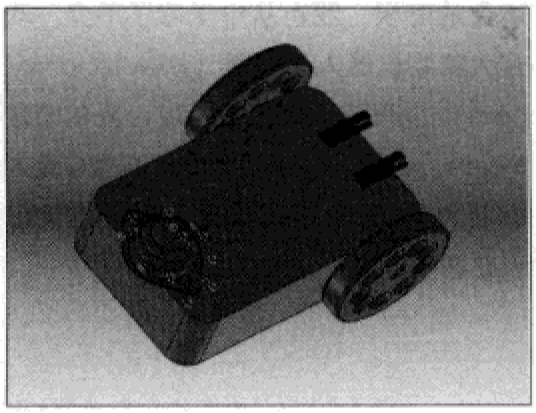
SolidWorks 2010在有限元分析方面是存在很大优势的，因为它自带的SolidWorks Simulation使用的是当今世界上最快的有限元分析算法，由SRAC公司开发的快速有限元算法（FFE）。有多快呢？FFE算法的解题速度比传统算法快了50~100倍，还降低了储存空间，只需原来的5%就够了！（数据出自《SolidWorks 2010有限元、虚拟样机与流场分析从入门到精通》。）

好的，各位早就等不及了吧？节目正式开演啦！

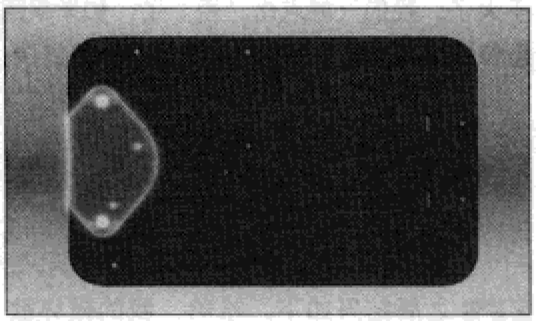
01 首先让主角登场，打开软件，单击打开后，请出咱们的主角——饭盒先生。



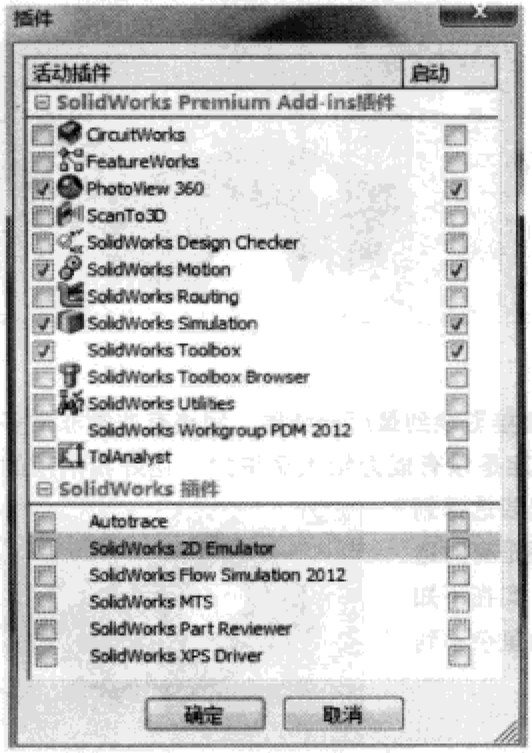
02 在正式进入下一环节前，饭盒先生需要先"化妆"，打开我们的智能车装配体，再选择编辑饭盒先生，在它下面画一条分割线，这是在后面添加夹具的时候用的。这里发现个问题，在装配图中不能使用"转换实体引用"，把一个零件的轮廓转换到另一个零件上，不知道大家有没有遇到过这个问题，如果是普遍的问题，希望SolidWorks的设计者在此能有所改进，否则我们就只能利用捕捉功能，在需要的平面上自己动手画出轮廓。



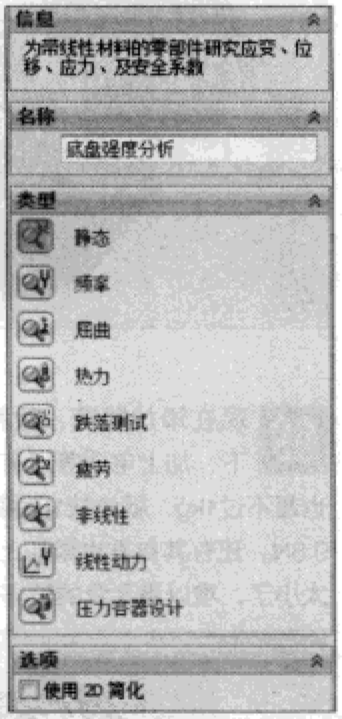
03 画完分割线后，底面被分成两部分。



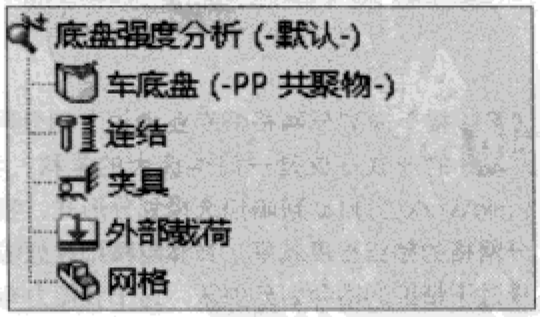
04 选择"工具"-"插件"命令，添加SolidWorks Simulation插件。这里还有很多有意思的插件，希望大家探索一下。



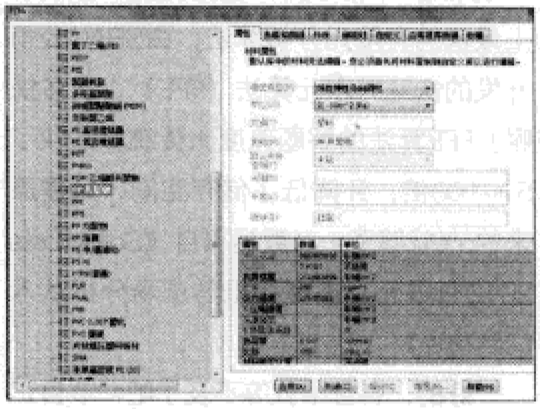
05 在Simulation里有个算例顾问，这个顾问很有爱啊，会一步一步地教你怎么做，不过这次就不麻烦它了，我们选择新算例，类型选择为静态。



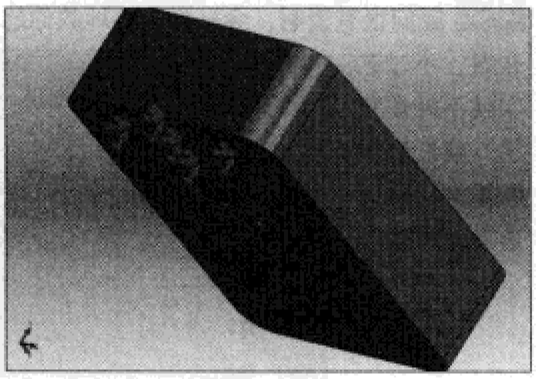
06 之后就会发现在FeatureManager设计树下出现了这个。



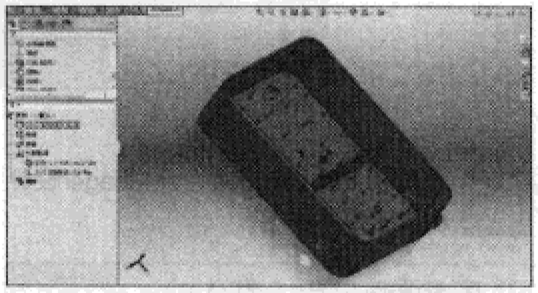
07 右键单击“车底盘”，然后先来为饭盒先生添加材料。饭盒底下标明了它是用聚丙烯(PP)共聚物做的，可以直接选择。



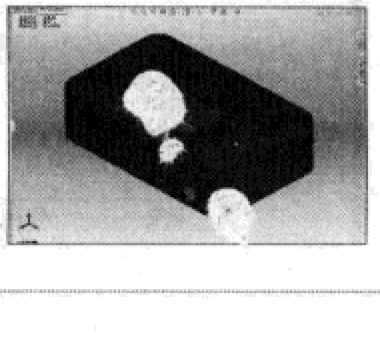
08 添加夹具，将零件固定。按照零件实际受力情况，夹具应该添加在安装减速电机那些孔的位置，还有与万向轮接触的位置，就是开始画分割线的区域。



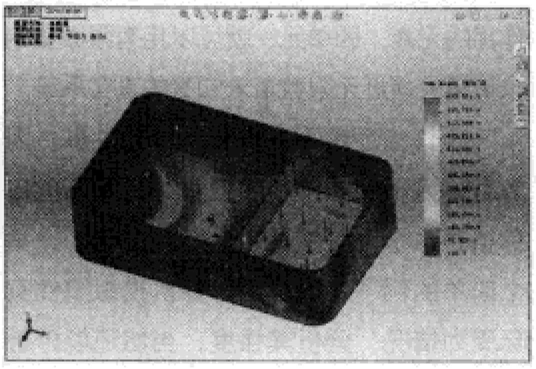
09 现在添加载荷，我粗略地估算了一下，加上电池等所有零件，重量总共也超不过1kg，就先按1kg算啦，那就是受力9.8N。还有其自重也添加上，那总重也实在太小了，难以满足我的破坏欲望。



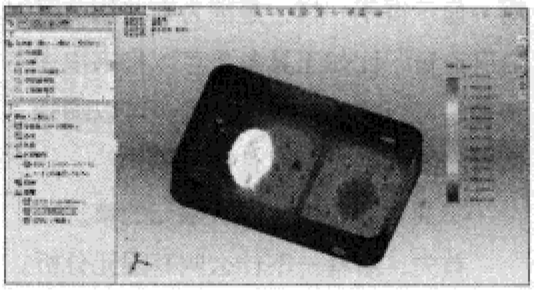
10 接下来划分网格，专业地说，划分网格直接影响到最后的结果。网格有非常非常多的形式，这是一门很庞大的学科，我肯定是没有能力给大家讲的，还好我们用的SolidWorks会自动帮咱们选择划分形式，我们只要选择划分网格的精细程度就好。当然越精细越好啦，但是有时选择过于精细的话会划分失败，这个我能力有限，实在不知道怎么解决。好在对于饭盒先生来说，再精细也复杂不到哪去，所以就直接选择良好到底。



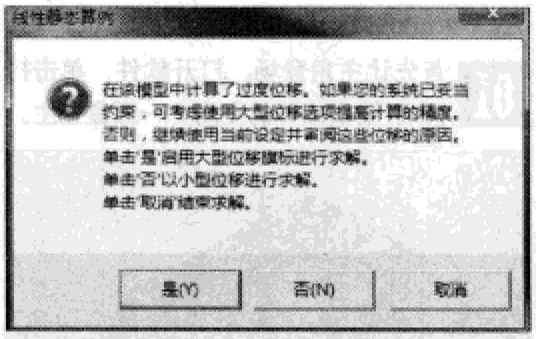
11 然后就可以运算啦！最后显示了3个结果——应力、位移和应变，在应力图中，以红色显示的部分就是整个结构最脆弱的部分，如果需要加强，就要在对应的位置上更改设计了。



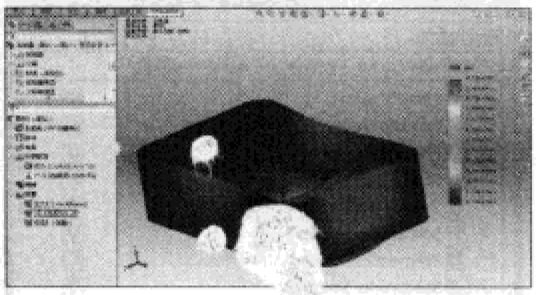
12 在位移图中，显示最大位移只有约0.77mm，简单地说就是变形可以忽略不计，这个当然符合我们的要求啦，所以说用这个饭盒做循线小车的底盘是很合适的。当然从中还能得到更多详细结果，在这就不多说了，因为我不是专家，就不过多地误导大家啦。



13 为了满足我的破坏欲望，我把载荷提高100倍看看是什么结果，结果出现如图所示的提示。也就是说，所加的力使模型变形过于大了，我们只能点击“否”了，如果采用大型位移旗标求解，我的电脑总是会计算错误。



14 之后结果如下，哈哈，我的破坏欲得到了极大的满足。这个结果就是说，如果你正在玩小车的时候，恰好有个重约100kg的胖子不小心踩在了你心爱的小车上，车体就会变成这样！饭盒先生欲哭无泪吧？不要伤心了，为科学献身嘛！



下面又是小提示时间，在SolidWorks所提供的Simulation最适合分析小型位移，像本文最后所做的实验是不适合的，这样大的变形结果很可能是失真的。另外，所有计算结果都仅供参考，最后还得以实际情况为准，但是用软件模拟总会让我们少犯一些低级错误。有限元分析是门很深奥的学科，够一个人研究一辈子，对于我这种菜鸟来说，只要知道结果就好了。

好了，有关SolidWorks的文章暂时告一段落，非常感谢大家的支持，在写本文的时候，我也从中学习了不少。欢迎大家到机器人天空网（www.robotsky.com）的论坛里来互相学习，我的ID是moren，也可以在新浪微博里直接@魔人机器人工作室，只要上网，我一定会出现在这两个地方。

SolidWorks 帮你完成机器人设计 3

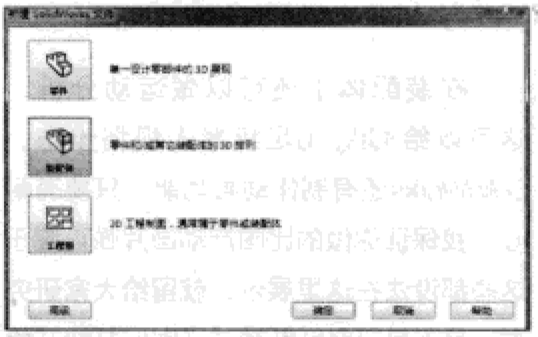
零件的虚拟装配

◇李伟

欢迎收看关于SolidWorks 2010的装配体演示，《无线电》第4期咱们一起欣赏了零件图的绘制过程，想必大家早就融会贯通了，这次就来看看装配体。所谓装配，就是要把零件组装起来，成为我们需要的产品，但是SolidWorks提供的不单单是虚拟的组装起来这么个简单应用，我们还能通过装配体无中生有地再设计出零件，进行干涉检查、碰撞检查、运动分析、制作动画等。是不是已经听乱了？没关系，我们一起来领略一下这些神奇的功能吧！

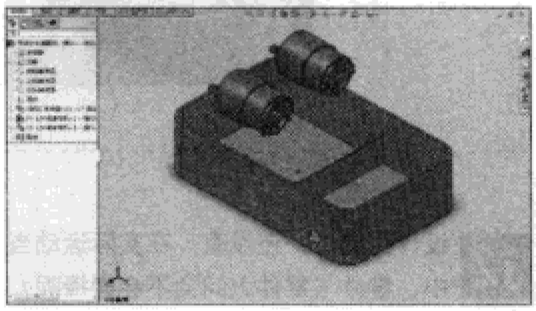
这次我们要一起来组装四驱车，噢，对不起，是循线小车，那现在我们就借助这个简单的例子来秀一下装配过程。

01 首先还是打开那个刚出来什么都没有的SolidWorks软件，单击“新建”，这次要选择“装配体”。

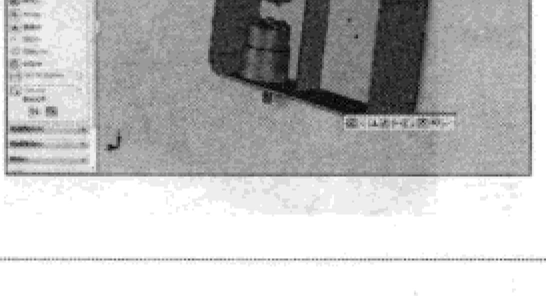


02 打开后，软件就会提示插入零件，单击“浏览”，找到你要插入的零件。这里注意，插入的零件是有顺序的，一般第一个零件是整个装配体的基础、框架，通常是最大的零件，这里当然是插入智能车的底盘啦（实际是用一个塑料饭盒改装的，我看很合适）。

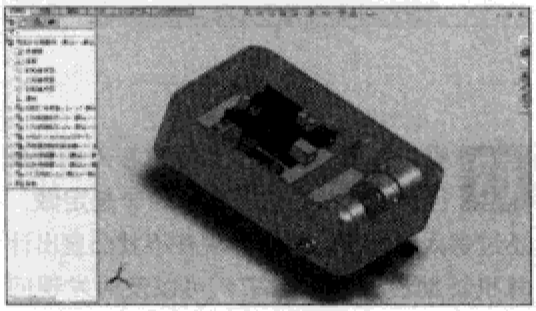
03 之后插入零件的顺序就怎么方便怎么来了。“怎么才算方便啊？”哎呀，朋友你又激动了，顺序怎么算方便要看你自己的设计了，总之，在添加配合时，不要被别的零件挡住就好，其他方面没什么强制要求。我先插入直流减速电机，这里需要两个电机，插入一个后，直接在FeatureManager设计树中按住Ctrl键，左键点击直流减速电机，拖动到绘图区就可以直接再生成一个。



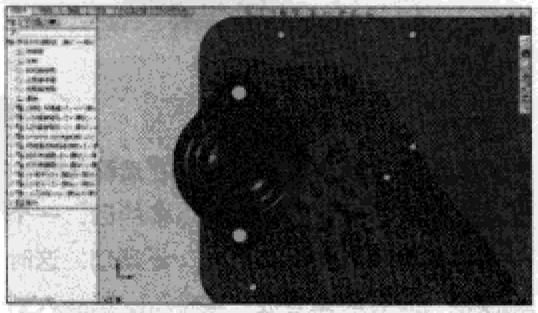
04 添加配合。所谓配合就是零件与零件之间的位置关系，添加配合也可以在插入所有零件之后再进行，但是现在咱们这个装配体稍显复杂，我怕最后弄乱了，所以最好插入一个零件就添加一次配合。在SolidWorks里，只要你选择了需要配合的实体的面，系统会自动给你列出相关的标准配合，你只要做个选择题就好，而且可以预览，这都是有答案的题。

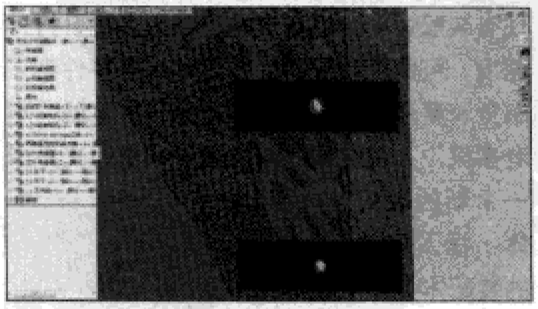


05 之后就按照3、4两步把所有的零件都添加进去，比如Arduino控制板、两路直流电机驱动板、红外传感器……

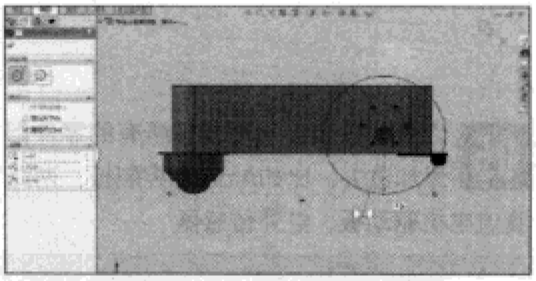


06 在插入红外传感器和万向轮时你会发现，“哎呀，车的底盘上没有留安装孔，怎么办？再重新画底盘，重新装配？啊……”其实不用这么麻烦，在装配体中你可以直接编辑零件，不用重新来的！这样可以完成所谓的关联设计，即一个零件的某个特征是根据其他零件的某些特征定义的。

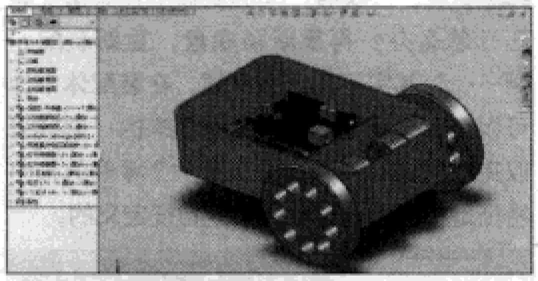




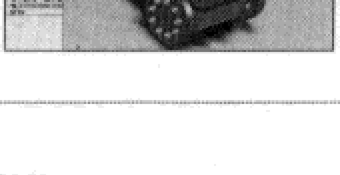
07 大体上有型了吧？还差个轮子啊！没有关系，下面又是个见证奇迹的时刻——无中生有，我们可以在装配体中直接再设计出零件！这是所谓的自顶而下的装配，专业的讲叫top down。上面咱们做的都是自底而上的装配，就是所有零件都有，只差装起来。那自顶而下，当然就是根据装配体来设计零件啦！具体的方法就是在插入零件时，有“新零件”这么个选项，点选后，可以选择装配体上任意一个已生成面作为要画的零件的第一个基准面，非常方便。



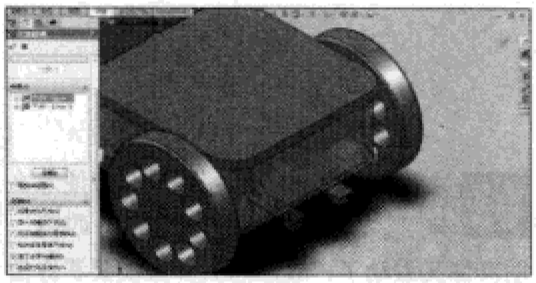
08 哎，又有问题了，实际中怎么会有直径为87mm的轮子啊？除非是定做，不过那太麻烦了。好了，现在不就凸显出计算机辅助设计的优点了？可以及时发现问题。要是实际安装时才发现问题，那得多抓狂啊？解决方法之一就是采用90mm的轮子，调高减速电机安装孔的位置。虽然只有几毫米的距离，但是解决了大问题啊。



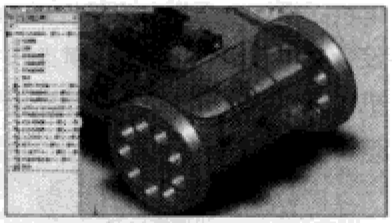
09 接下来就是装上盖子。在装配体中，如果你需要的零件有点多的话，一个一个插入零件看起来有点乱，还烦琐，这时可以把一些装配体当成“零件”，再插入到现有装配体中，据说这样可以大大提升打开速度。可能是我没同时做过那么多零件吧，感觉速度没啥变化，要不就是我的电脑“年老多病”。我把循线车的盖子和电池夹做成一个新的装配体，插入到总的装配体中。



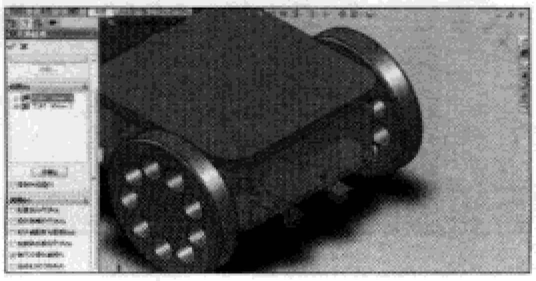
10 哒哒，完成啦！等一下，还有最重磅的功能没有介绍！“干涉检查”这个功能可以帮助你在设计阶段就发现什么地方根本就装不上去，来试试吧！细心的朋友可能早就发现了，安装红外传感器时没有给底盘打安装信号线的孔，这不，用静态干涉检查功能，软件就提醒了传感器会和底盘发生干涉，这样你在电脑前听着歌、吃着零食就能发现设计错误，而不必等到满身沾了油污和加工产生的碎屑后才发现装不上。



11 给底盘打孔后再检查干涉，显示无干涉。



12 设计完成了？还没有，在实际运动当中，零件与零件之间会不会碰撞呢？如果我们还没做出实物，能不能提前知道呢？当然了，SolidWorks已经为我们准备好“碰撞检查”这个功能了，为了演示这个功能，我在循线小车的盖子上又画了个摄像头，意思是想让这个摄像头在实际使用的过程中可以上下转动（我承认画得比较粗糙，只是为了演示，请多包涵）。当我们开始向上转动摄像头时，就会发现摄像头某些部分会和车盖碰撞，所以需要加高摄像头支架。这个功能在我们的设计中是非常有用的，比如设计机器人的某些关节，我们想的是能怎么怎么运动，但是实际上，某些部分会不会在运动中卡住呢？碰撞检查一下吧！



SolidWorks小技巧

1. 插入零件是有顺序的，第一个插入的零件非常关键，是整个装配体的基准，所以一定要选择有代表性的，或者个头大的，否则后面会很蹩脚。同时，插入同类的零件要挨着，比如这个小车的两个轮子、两个减速电机，这样可以按住Ctrl键快速拖入。

2. 在装配体中新绘制的零件是自动添加某些配合的，就是开始选择的那个基准面，这样如果你再按着Ctrl键拖入的话，就没法给新插入的零件添加一些想要的配合，这就需要先另存一下开始画的那个零件，再插入。

3. 添加配合时，有没有发现有些零件总是会挡住你需要选择的那些面呢？通过右击FeatureManager中那些碍事的零件将它们隐藏，或是改变透明度，常可以解决问题，当然还有其他方法，大家可以自己探索。

4. 关于关联设计，比如我们在底盘上给万向轮和红外线传感器打的安装孔，如果万向轮或红外线传感器的安装孔发生变化的话，那么对应地盘上的孔也会随之变化，前提是这两个零件同时打开了，这是个很容易弄错的地方（我就经常弄错），大家要注意。

在装配体中还可以做运动分析，这可以给4足、6足机器人规划步态。SolidWorks还有制作动画功能，只要有耐心，我保证你做的比国产动画片强！鉴于这些都没法在这里展示，就留给大家研究啦！是不是已经跃跃欲试了呢？赶快开始学习吧，为你的设计插上翅膀！

好了，这个小车差不多就算是设计完成了，当然还是缺少点固定用的螺丝和铜柱什么的，但是鉴于跟展示软件没关系，我就不一一画出了。“那可以动手做啦？”错！朋友你又着急了！按照“正统”的设计步骤，我们还应该进行有限元分析才能知道设计强度够不够，要不做出来也可能是个废品。但是我们做的东西一般都不需要那么复杂，强度一般都是满足的。如果你想试试到底行不行的话，SolidWorks当然也可以帮你完成，在其内部集成着有限元分析这些功能，而且操作也很简单，你也可以很快做出来。

Bigdog离我们到底有多远?

◇雷世昌

不少人可能都在网络上看到过这样一个视频——一个类似于无头狗的机器人（Bigdog）扛着几个作战包裹，带着刺耳的噪声，快速通过各种复杂地形，例如山地、丛林等，还能任人踢踹，却依旧不倒。不少人都啧啧称奇，但限于网络上信息量少，无法深入了解。没关系，本文将会给大家解答所有的疑惑。

大狗机器人的身世

Bigdog顾名思义就是大狗，下文也将用“大狗”来称呼这款机器人。大狗机器人是由波士顿动力公司为美国军队专门研究的一款战地运输机器人，主要解决士兵行军负荷、战斗负荷过重问题。

作为特种机器人行业内的翘楚，波士顿动力公司自从成立起就专门为美国军方研究各类型的作战用机器人。创立者马克·莱伯特1949年生于纽约，1973年从美国东北大学毕业，取得电子工程学士学位，1977年取得麻省理工学院的博士学位。1977年到1980年，莱伯特在加利福利亚的喷气式推进力实验室担任工程师。1981年，他前往卡内基·梅隆大学担任计算机科学与机器人技术科学方面的助理教授。在此，他建立了有名的“腿实验室”，而后随着莱伯特去麻省理工学院任教，该实验室也被搬到了麻省理工学院。早在1984年，腿实验室的第一个4足机器人就诞生了，这时候它还只能在实验室里面一阵小跑。但正是在这个实验室里，马克·莱伯特完成了大狗所需的技术积累。

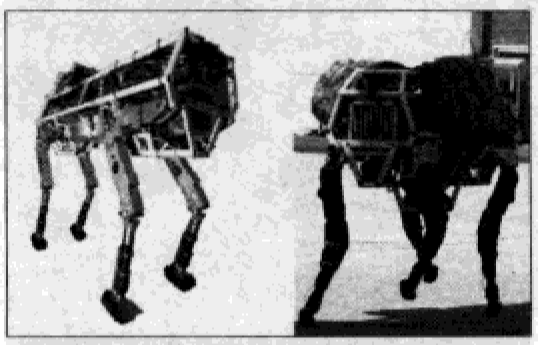


图1 第一代大狗机器人（左）和第二代大狗机器人（右）

为了得到更多的资金支持和更好的实验条件，莱伯特在1992年一手创办了波士顿动力公司，专门为政府和军事部门生产实用性奔跑机器人，完成了由大学教授到公司总裁的华丽转身。前面说到，士兵在行军乃至战斗时承载的负荷越来越重，这不仅降低了士兵的机动能力，调查研究还表明，长期在战场服役的士兵不堪重负，不少人都有战争后遗症——腰部和腿部关节严重磨损。为了增强复杂环境下士兵的战斗力，避免不必要的肉体创伤，本文的主角——大狗机器人就在美国国防部的支持下，由波士顿动力公司研制出来。

到现在为止，大狗机器人的研发工作从未停止过，波士顿动力公司已经成功开发出了两代大狗机器人，如图1所示。

大狗的仿生结构

大狗是一款典型的仿生机器人，其主要结构都严格参考真实狗的构造，由金属合金制成，如图2所示。大狗的每条腿具有髋、膝、踝3个关节和4个自由度，其中髋关节有2个自由度。踝关节以下的足部构造较为复杂，由弹簧缓冲装置和足构成。

从图2可以看出，这种设计充分借鉴了真实动物的腿部构造，在中心液压驱动系统的支持下，大狗能够具有足够的灵敏度和极大的稳定性，即使面对突如其来的横向撞击，它也能迅速地调整姿态，保持稳定，但真实的动物则不一定能具有这种稳定性。

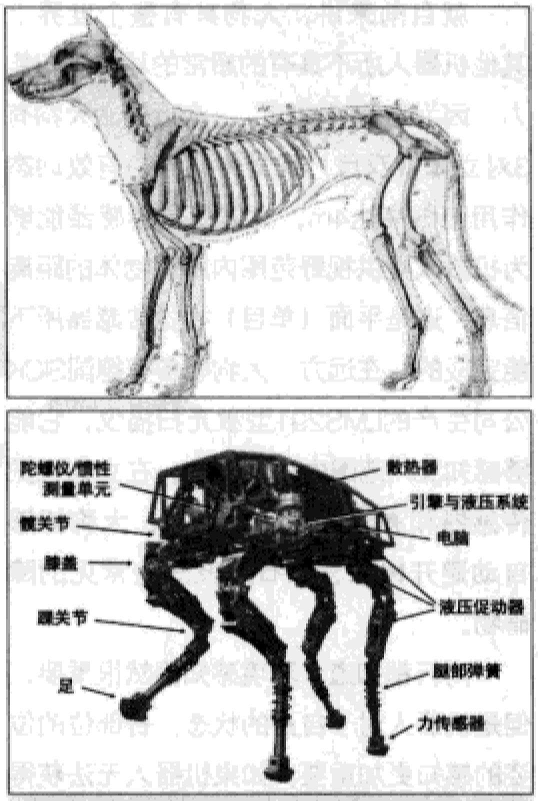
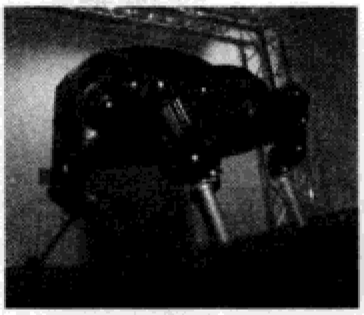


图2 真实动物骨架图（上）与大狗机器人结构图（右）

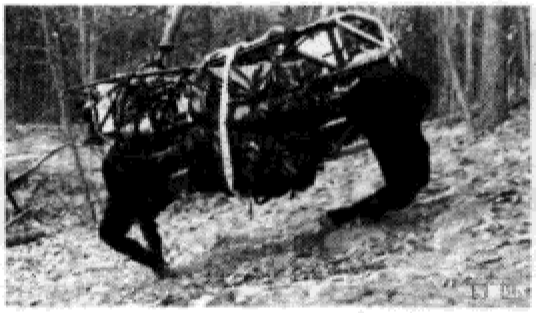
与动物一样，大狗也具有一颗强而有力的“心脏”——猎豹燃油发动机。该款发动机为单汽缸两冲程发动机，最高转速达9000r/min，以电子打火方式启动。

大狗的传感器及控制系统

说到这里，大家肯定会有疑问，因为纯粹的金属是没有生命的，而一个生命体如果没有感觉，那也是非常笨拙的。如此看来，大狗肯定有它的独到之处，不然它又是如何跟真实的动物一样，能跑能跳，


小狗Littledog

斗牛犬Bulldog


领头狗Alphadog

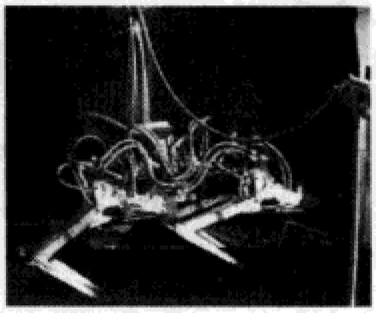

猎豹

图3 波士顿动力公司产品系列

还能适应各种地形的？这就需要我们从大狗的传感器及控制系统中寻找答案了。

就目前来讲，大狗具有整个世界上其他机器人所不具有的超常的环境感知能力，因为它有“眼睛”。在近处，大狗有3对立体（双目）视觉传感器，有效动态作用范围高达4m。立体视觉传感器能够为机器人提供视野范围内所有物体的距离信息，这是平面（单目）视觉传感器所不能完成的。在远方，大狗配备有德国SICK公司生产的LMS291型激光扫描仪，它能够感知30m范围内的障碍物。在立体视觉传感器和激光雷达的配合下，大狗能够自动避开树木、巨石以及一些常见的障碍物。

内行都知道，环境感知固然很重要，但是机器人对于自身的状态、各部位的位姿的感知更加重要。如果机器人无法获得自身准确的位姿信息，那迈出下一步的后果将难以预测。大狗的研究者在这方面也下足了功夫，可以说每个关节、每个足、每个液压执行器上，都分布有一到两个传感器，基本能够满足大狗的控制需要。

可能有人会问，大狗这么“灵”，那它身上到底有多少传感器？答案是69个，其中有16个测量关节位置传感器、16个测量压力和关节力量的传感器、16个电流传感器、3个立体视觉传感器。各处的位姿信息、实时的环境信息，甚至连大狗的“血压”（油压）信息，都被实时传入大狗的“大脑”里面。

而大狗的“大脑”是一台标准的工业用电脑，置于大狗的躯干内部，配置有奔腾处理器，有标准的输入/输出接口，内置软件用C++代码编写，完成的主要任务是控制、通信、感知、电力分配、数据收集等。有了这些，大狗还能不灵光吗？（作者注：由于大狗的“灵魂”——软件算法涉及比较多、比较复杂的数学和控制论的知识，本文就不深入介绍了，有兴趣了解的读者可以发邮件给作者探讨，邮箱是lsc989818@163.com。）

大狗的“亲戚们”

其实，大狗仅仅是波士顿动力公司的一款机器人而已。在4足机器人领域，波士顿动力公司汇聚了各方精英，已经在业界占有领先地位。除了大狗Bigdog，他们还设计了小狗Littledog、斗牛犬Bulldog、领头狗Alphadog等狗系列的机器人，就连最近公布的奔跑速度能够达到29km/h的猎豹机器人，也是该公司的杰作。而且大狗和领头狗这两款机器人已经经过仿实战环境的测试，军方一旦有需求，这些冷冰冰的机器人将会作为战斗序列，在枪林弹雨中疾驰。

看了这么多大狗的知识，肯定有读者会关心，我国现在对于4足机器人的研究又如何呢？不瞒各位，我们正在奋起直追，但是，由于技术积累不够，我们要做的工作还很多。随着我国对教育科研经费投入的增加，不少高校实验室都在4足机器人领域展开了研究，也取得了不小的成果，但距离实际应用还有一定差距。比如山东大学研制的一款液压4足机器人（见图4）就和大狗非常类似，该机器人能够在普通地表上实现常规步态的行走，但越障能力有限，自主导航能力几乎为零。还有就是中科院自动化所研制的FROG机器人（见图5），这款机器人采用电机驱动，安装有 Linux系统，采用无线的方式与控制它的电脑交互，不过在使用时，它仍旧需要一个电源插头。从公开的资料来看，上述两款国产4足机器人的性能与大狗机器人还相距甚远。我们希望国人的研究能够跟上，让我们自己的大狗机器人早日出现。

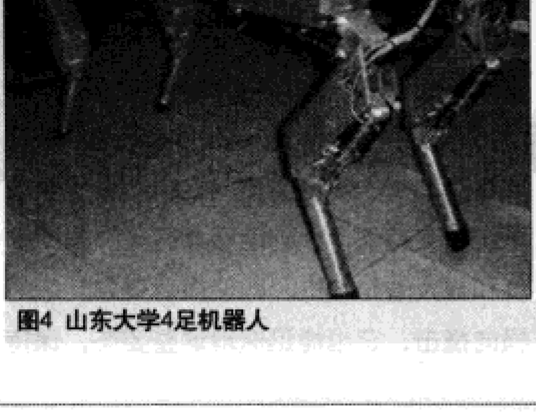
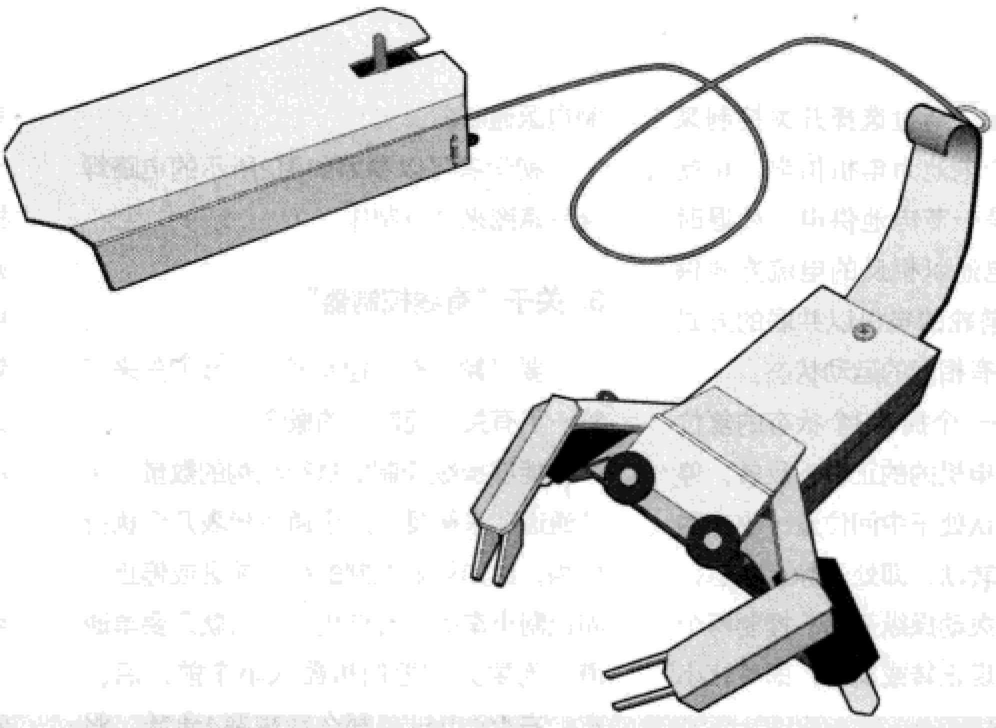


图4 山东大学4足机器人

图5 中科院FROG机器人

◇pvcbot ◇插画：刘少冉



PVCBOT 26号：单路线控机器人

机器蝎子

作为线控系列机器人的第一个项目，为了降低难度、便于理解，我们先来介绍一个最简单的线控机器人。它采用单路双通道有线控制器，只能实现前后运动，不过配合上专门的造型设计以及特殊的操作控制手法，倒是能够在较大程度上模仿一只张开双钳、翘起尾钩发动攻击的大蝎子。利用前进中突然急刹车后退的操作手法，可以让蝎子突然把屁股翘起来，做出用尾钩攻击的姿态。

本项目实际上是一个由有线控制器操纵的小车，可以人为控制小车的前进、停止、后退。为了充分发挥模块化制作的优势，本项目直接使用通用的PVCBOT-A型基础平台车（参见本刊2012年第4期《沿墙走的老鼠》一文）作为小车底盘，并且使用PVCBOT-CCtrl-12A单路双通道有线控制器进行控制，大大降低了制作的难度，提高了制作的效率。

基本原理

1. 运动方式

PVCBOT-A型基础平台车采用三轮结构，前面左右两边的两个轮子是主动轮，各接一个电机作为动力，后轮是从动轮，起到平衡的作用。控制前面两个轮子的转动方向就可以控制整个机器小车行进的方向：左右两个前轮都向前转，则机器小车向正前方直线前进，左右两个前轮都向后转，则机器小车向正后方直线倒退，假如左右两个轮子的转动方向不同，就可以控制机器小车转向。

不过，当前项目我们采用的是单路双通道有线控制器，仅能够控制左右两个轮同时转向相同的方向，因而只能控制小车前进、停止、后退，不能控制小车转弯。

2. 控制原理

这个制作的电路原理图如图1所示。电源为两节7号电池，每节电池作为一个

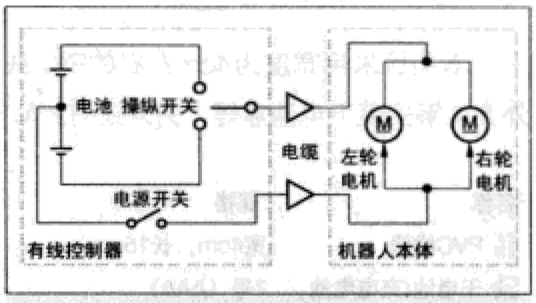


图1 “机器蝎子”的电路原理图

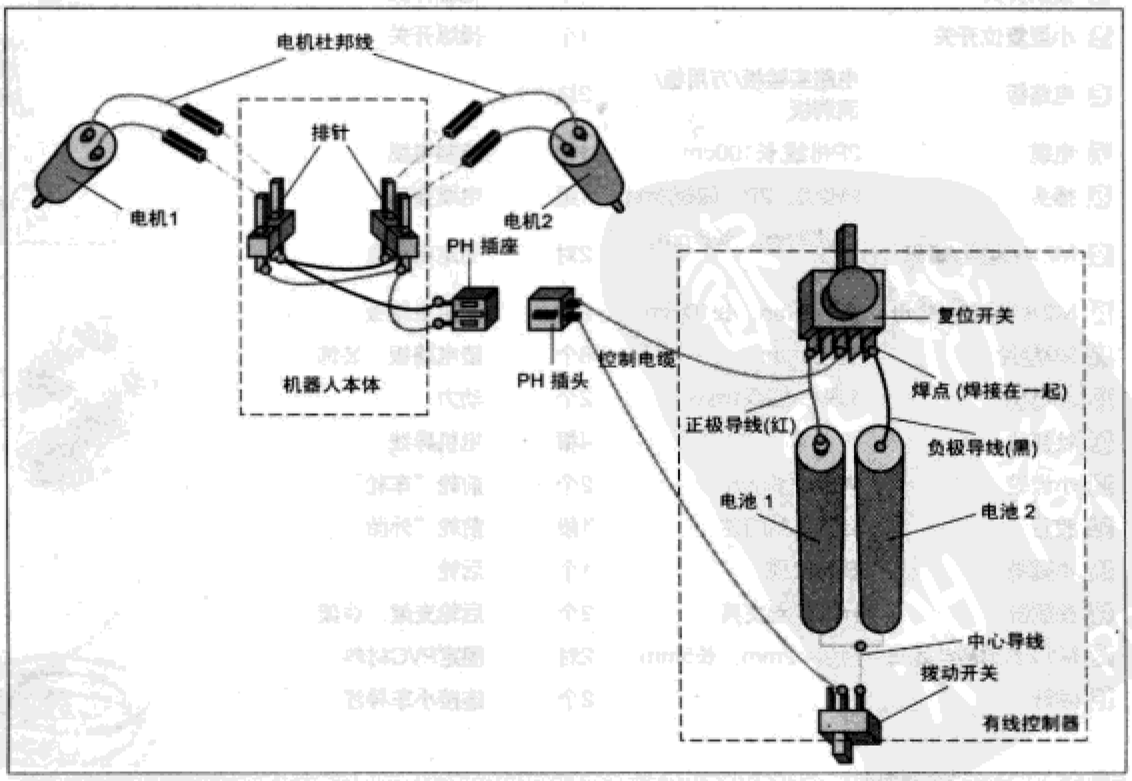


图2 电路焊接示意图

独立的供电单元，通过选择开关控制某一时刻由哪一个电池为电机供电。也就是说，前进时是一节电池供电，后退时则是另外一节电池以相反的电流方向供电。 左右两个前轮的电机以并联的方式连接在一起，拥有相同的运动状态。

操纵开关是一个拥有3个状态的复位开关，可以控制电机的的正转、反转、停止。操纵开关默认处于中间位置，小车的两个前轮电机不转动，即处于静止状态，左右（或上下）拨动操纵开关，控制两个前轮电机同时实现正转或反转，即可让小车前进或后退。

为了使整个电路控制更加完善，不至于误触发，增设一个总电源开关，可以控制电源通断。

初学者可以参照如图2所示的电路焊接示意图来进行制作。

3. 关于“有线控制器”

要了解“有线控制器”，我们先来了解一下有关“控制”的概念。

能够操纵控制的执行机构的数量，用“通道”来衡量，几个通道代表几个执行机构。比如只要控制的小车前进或停止，即控制小车的一台电机，那么就只要单通道，而要分别控制机器人小车前、后、左、右4个电机，那么就需要4通道，假如再控制速度，那么就需要5通道。

同时能够发送的指令数量，用“路”来衡量，几路代表同时能够发送几个指令。

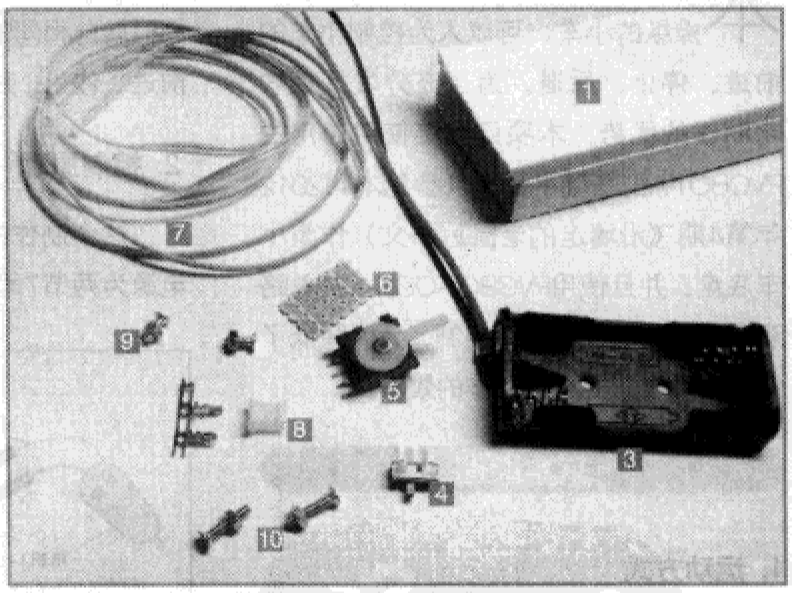
根据指令或者被操控机构的特性，控制可分为开关型控制、连续型控制。开关型控制指可对被控机构的状态进行单一通断切换的控制，比如电机的转、停。连续型控制指可对被控机构的状态进行连续性的调整，比如电机的转速。从简考虑，PVCBOT线控机器人主要使用开关型控制。

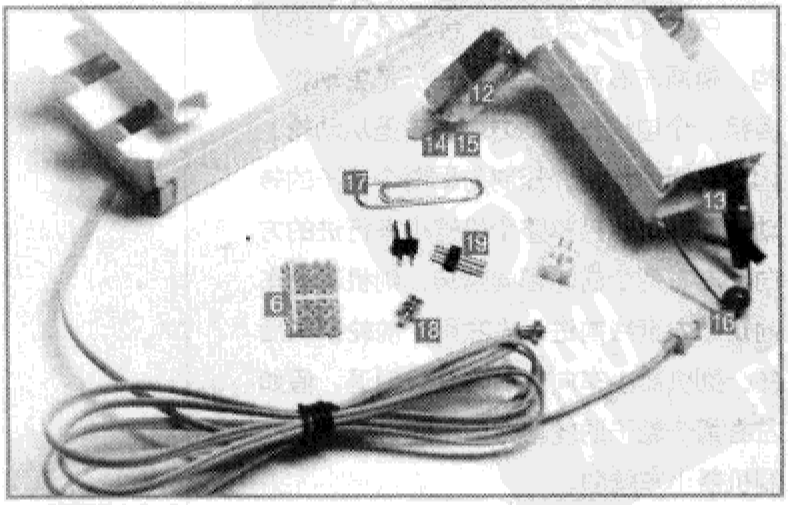
对于PVCBOT线控机器人来说，“有线控制器”是基础。根据不同的配置（通道和路），我们将会选择几个有代表性的电路，设计制作成几款通用的有线控制器，作为PVCBOT线控机器人的标准设备。

准备工作

本项目采用宽度为4cm左右的PVC线槽，主要是作为控制器外壳能够安装下电池盒等，另外还有2节7号干电池。

名称	规格	数量	用途
1 PVC线槽	宽4cm，长15cm	2条	主体材料
2 干电池/充电电池	7号（AAA）	2节	电源
3 电池盒	7号电池盒	1个	电源
4 拨动开关		1个	电源开关
5 小型复位开关		1个	操纵开关
6 电路板	电路实验板/万用板/洞洞板	2块	
7 电缆	2P排线,长100cm	1根	控制电缆
8 插头	PH2.0，2P，间距2mm	1组	电缆接口
9 M2×6螺丝/螺母	直径2mm，长6mm，平头	2对	固定电池盒
10 M2×10螺丝/螺母	直径2mm，长10mm	2对	固定电路板
11 M3垫片	直径3mm	8个	垫电路板、装饰
12 小电机	1.5V，轴径1mm	2个	动力
13 杜邦线		4根	电机导线
14 小齿轮	内径0.95mm	2个	前轮“车轮”
15 胶管	自行车气门芯	1段	前轮“外胎”
16 小圆珠	塑料圆珠	1个	后轮
17 曲别针	标准钢丝文具	2个	后轮支架、线架
18 M1.2×5螺丝/螺母	直径1.2mm，长5mm	2对	固定PVC材料
19 排针		2个	连接小车导线

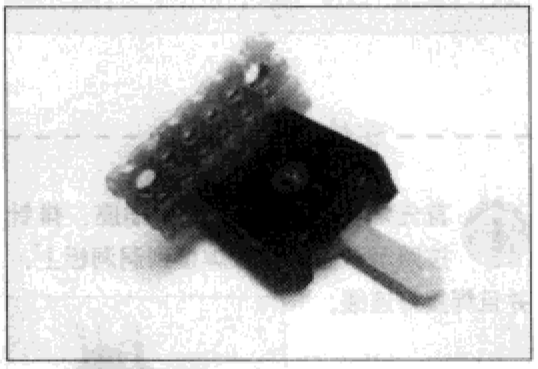




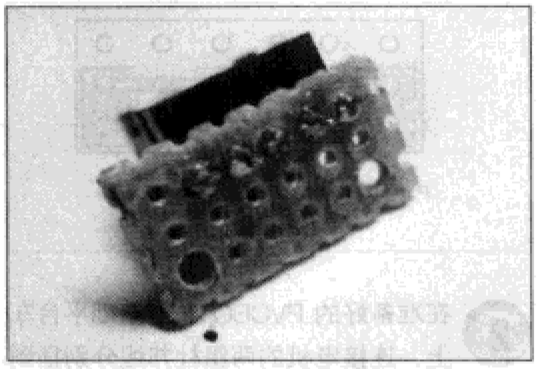
制作过程

PVCBOT-CCtrl-12A单路双通道有线控制器

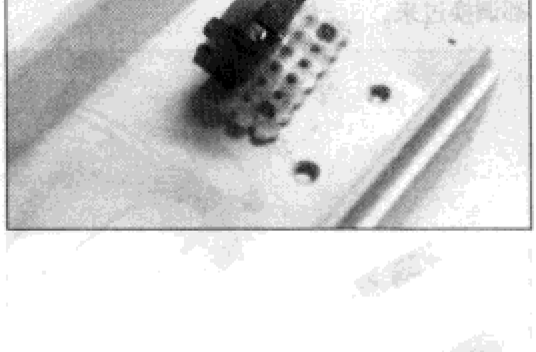
1 首先安装操纵开关。把3×6的洞洞板横向边上两侧的两个小孔用锥子撑大到直径2mm，作为安装孔，让M2的螺丝可以穿过。 然后把复位开关按图所示插到洞洞板上。



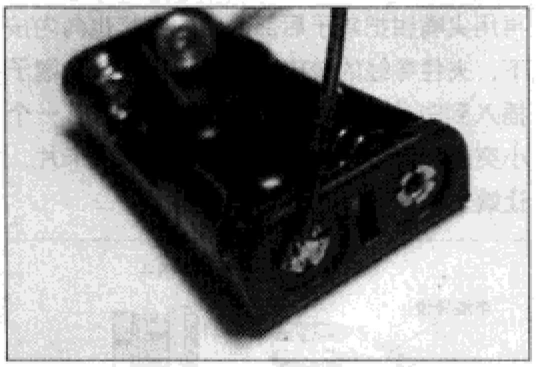
2 把复位开关的所有5个引脚都焊接到洞洞板上。



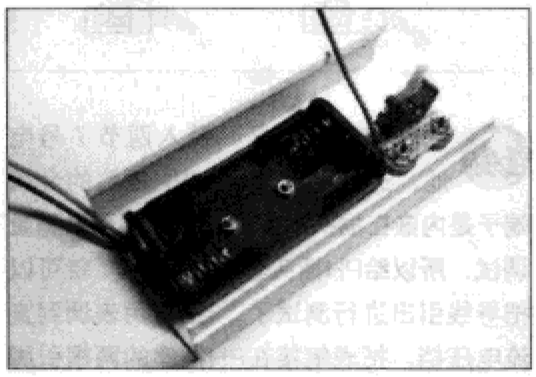
3 取宽4cm的PVC线槽的凹槽部分，剪出长约8cm的一段，作为外壳的底部。对着焊接了复位开关的洞洞板上的两个安装孔，在外壳底部打两个直径2mm的固定孔，要使复位开关正好处于外壳底部的中间位置。



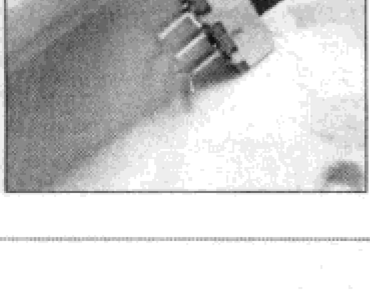
4 在电池盒没有导线输出的一端，将导线焊到电极上。注意焊接时动作要快，否则温度上升过高，会使电极周围的电池盒外壳塑料熔掉，从而导致电极脱落。



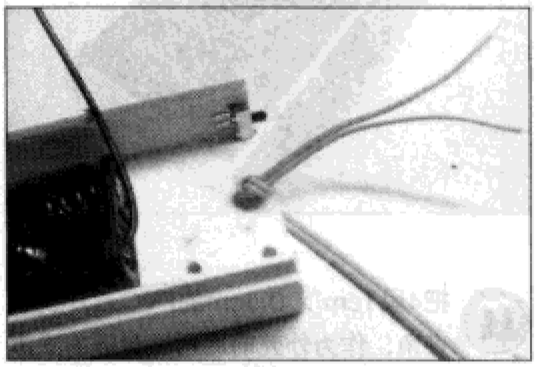
5 对着电池盒上的固定孔，在外壳底部对应位置各打一个直径2mm的小孔，借助M2×6的螺丝、M2螺母把电池盒固定到外壳上。为了保证外壳底面平整，可以让平头的M2×6螺丝从外向内穿进，由于螺丝位于电池盒中部两个电池中间的空隙，而且本身不是太长，不用担心会顶住电池。



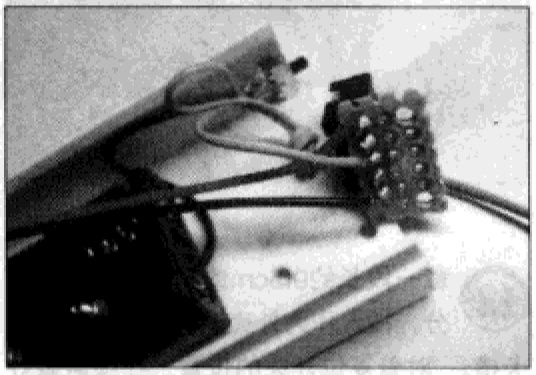
6 在外壳底面的顶部侧壁，开一个宽度和拨动开关一样的卡槽。同时，把拨动开关前端部分用尖嘴钳往上折起。在卡槽四周以及内侧面涂上502胶水，然后趁胶水未干，迅速把拨动开关装入卡槽中，将其引脚粘贴在外壳上。由于拨动开关是沿着卡槽两端拨动的，不容易脱落。



7 在外壳底部的中心位置打一个直径2mm的小孔，作为电缆孔。把电缆一侧长约4cm的地方打好一个结，然后把导线穿过电缆孔。

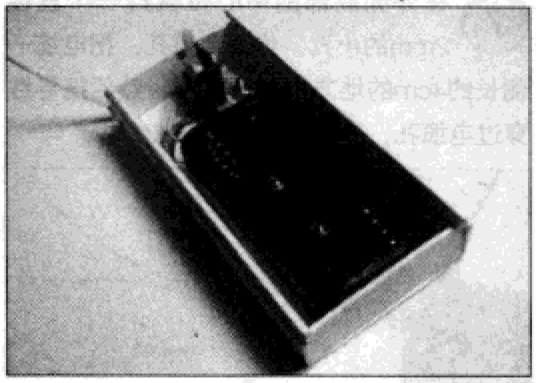


8 参照电路焊接示意图把电路焊接好。作为操纵杆的复位开关是焊接在固定用的洞洞板上的，注意复位开关默认总共有5根引脚，其中两侧相邻的两根是互相联通的（即1与2、4与5），我们可以直接取最外侧的两根和最中间的一根引脚(即1、3、5)。

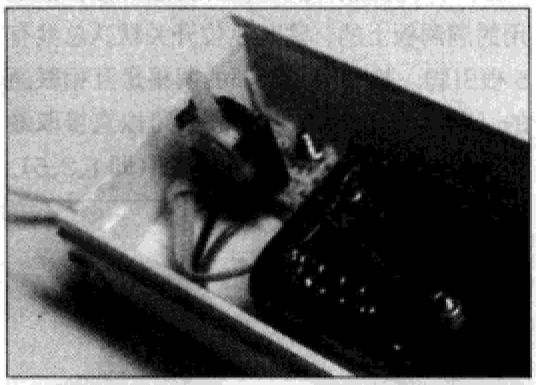


9 用M2×10的螺杆从外壳底面一侧穿出两个固定孔，各套上两片M3的垫片，然后再把焊接了复位开关的洞洞板装上，最后拧上M2螺母固定好。

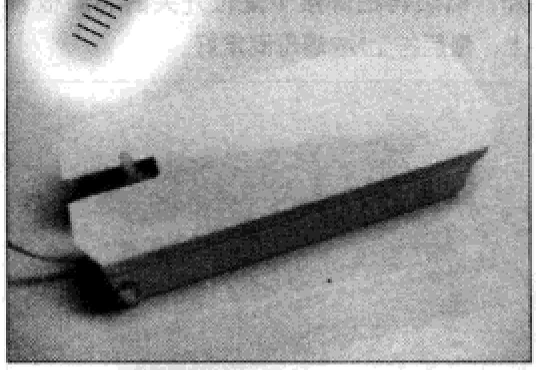
⑩ 为了让外壳更牢固和更具密封性，我们再给外壳底部前后两端加上封板。剪两段4.5cm×1.5cm的PVC方条，对着外壳底部前后两端的缺口，裁切到正好可以卡到外壳底部前后两端的样子。



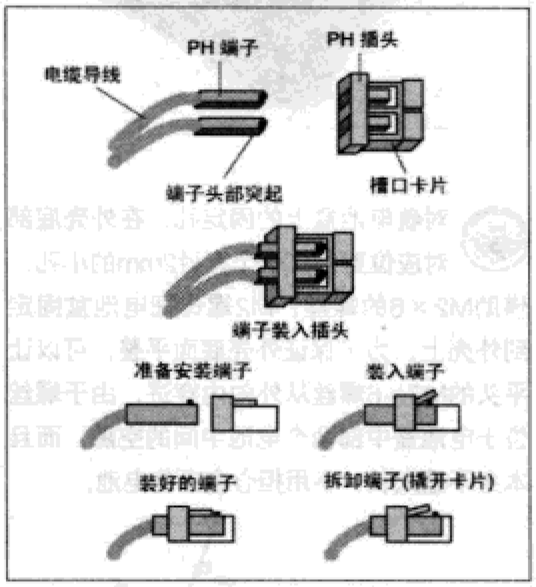
⑪ 把4段1cm X 0.5cm的PVC方片折成直角，作为外壳前后两块封板的支撑架。把支撑架涂上502胶水，然后粘贴在外壳前后两片封板和外壳底部之间，把外壳前后封板固定起来。



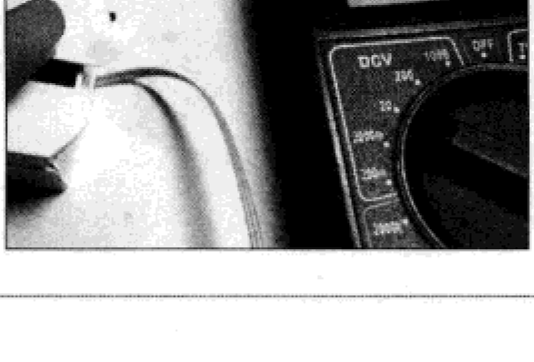
⑫ 裁一段长约9.5cm的PVC线槽顶盖部分，插入作为外壳底部的PVC线槽的卡槽。 对着复位开关的位置，在顶盖做好标识，并且在顶盖上用剪刀开出正好可以容纳复位开关的凹槽，然后把顶盖四边以及四角剪成斜角。



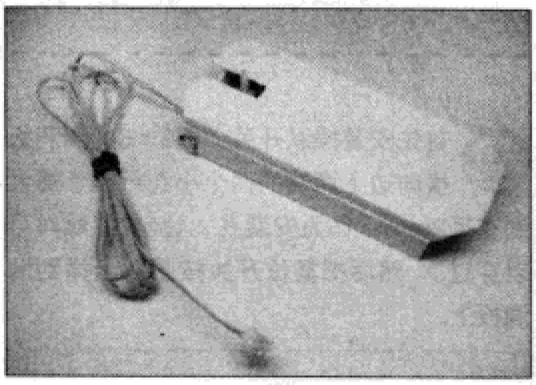
⑬ 选用PH2.0插接件作为可拔插的接口，它包括插头、插座、端子等3部分，“2.0”代表引脚之间的间距为2mm。把导线前端的胶皮剥掉，用烙铁上好锡。然后把端子从金属条上拆下，用烙铁直接给端子凹槽中央上锡，并把导线焊接到凹槽中，注意凹槽中央两侧各有一段突起的弯折片，在焊接好导线后，用尖嘴钳把两侧的弯折片按进凹槽内侧，让其夹住导线的焊接点。再用尖嘴钳把端子后部两侧的突起也向内按下，夹住导线的胶皮。把连接好导线的端子插入到PH的塑料插头中，端子顶上有一个小突起，可以卡住插头前端槽口上的卡片，让端子不至于脱落。



⑭ 把外壳顶盖推开，装入两节 7 号电池，进行测试。由于PH插头的金属端子是内嵌在插头内部的，不方便引出测量调试，所以给PH插头套上PH插座，就可以把导线引出进行测试了。 把万用表调到直流电压挡，把表笔接在PH插座的两根引脚上。打开拨动开关，接通电源，当操纵杆处于中间位置时，万用表的读数为0V，用手朝一个方向拨动操纵开关，可以看到万用表有读数， 再用手朝另外一个方向拨动操纵开关，这个时候也有读数，不过电流方向和上次的相反。

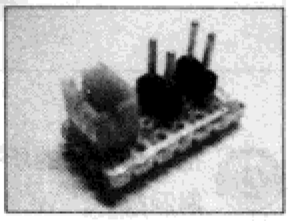


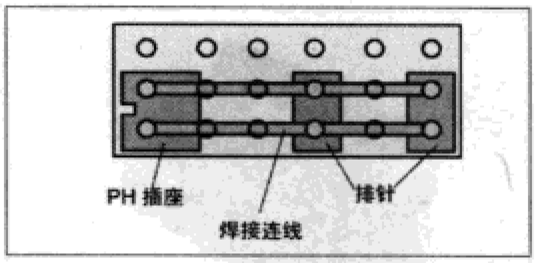
⑮ 单路双通道有线控制器至此制作完成。



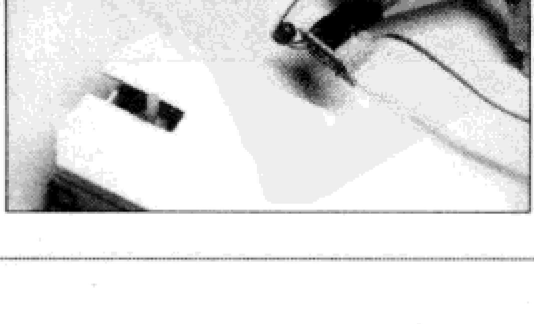
车体改造与装饰

① 首先焊接电路板。把PH插座、排针按照示意图的位置焊接到洞洞板上，并且焊接好连线。

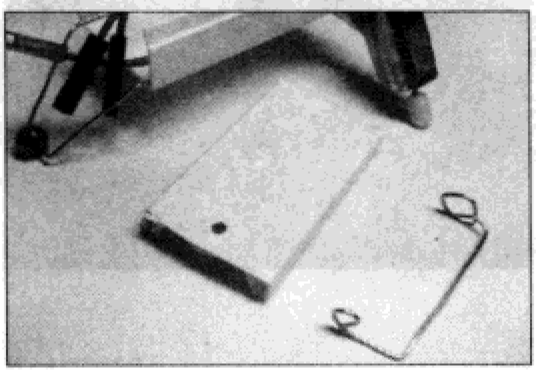




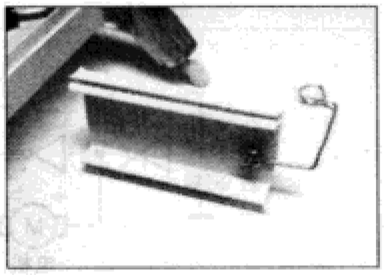
② 在准备好的 PVCBOT-A型基础平台车上，连接电机的两组杜邦线分别插到电路板的两个排针上，再把PVCBOT-CCtrl-12A单路双通有线控制器电缆上的PH插头也插到电路板上。打开有线控制器侧边的电源开关，然后前后拨动有线控制器上操纵杆。正常情况下，应该是往前拨动操作杆，小车就能往前走，向后拨动，则小车退后。假如小车原地打转，说明其中一个电机安装错误，把该电机找出来，调换其两根杜邦线所插接的排针。假如有线控制器操纵的小车运动方向搞反了，则可以把两组电机的杜邦线都调换过来。

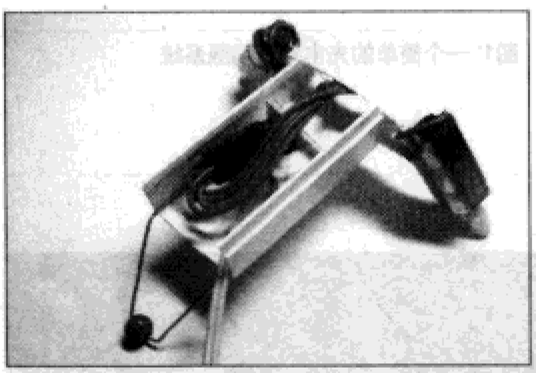


3 用尖嘴钳把曲别针扭成如下形状的线架，两端都是一个弯折的圆圈，其中小的一个圆圈直径最好在2mm左右，以便后面借助M2螺丝来安装固定。用线槽盖剪出大约长5cm的一段作为小车底盘的顶盖，并在其中一侧的边缘用锥子打一个直径大约2mm的小孔。

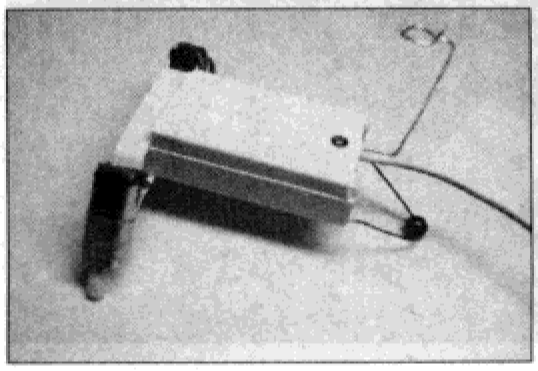


4 借助M2×6的螺丝/螺母，把曲别针制作的线架固定在顶盖上。把插接了杜邦线以及排线的电路板放置到小车底盘内部，并整理好导线，然后盖上顶盖。

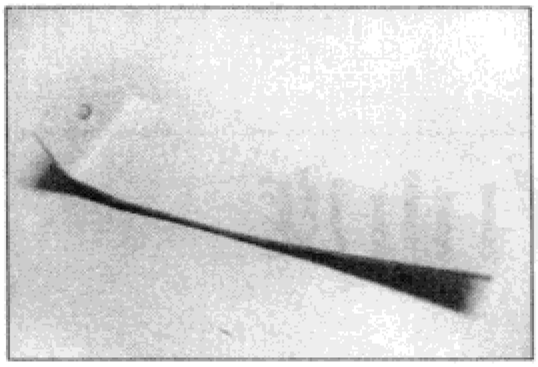




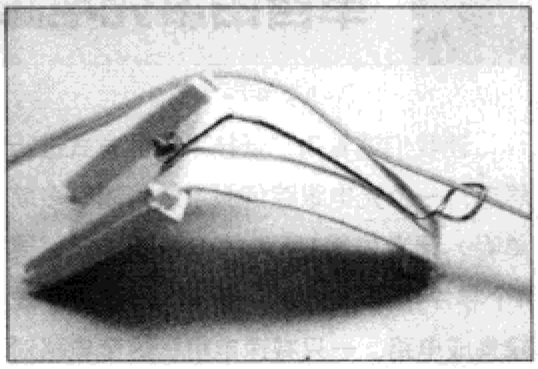
5 把连接到有线控制器的电缆穿过立起来的线架上，这里之所以要用线架把电缆撑起来，主要是防止电缆绊住小车轮子而影响小车的行动。



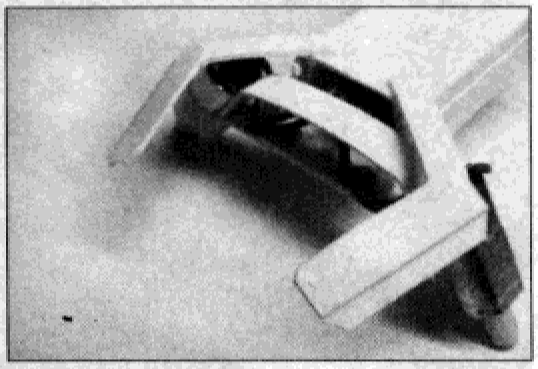
6 剪一段长6cm左右的PVC梯形条（短边长约0.5cm、长边长约2cm），作为蝎子的尾巴。在长边一侧打一个直径2mm左右的小孔，并用尖嘴钳弯折一下。



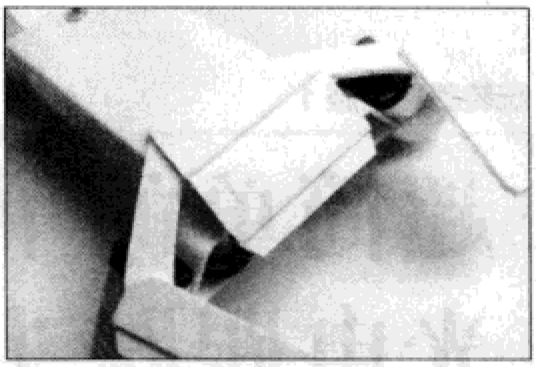
7 把顶盖从小车底盘上拆下，再把之前线架与顶盖固定在一起的M2螺母也卸下来，如图所示把尾巴装在顶盖和线架之间，最后再重新拧上螺母固定好。



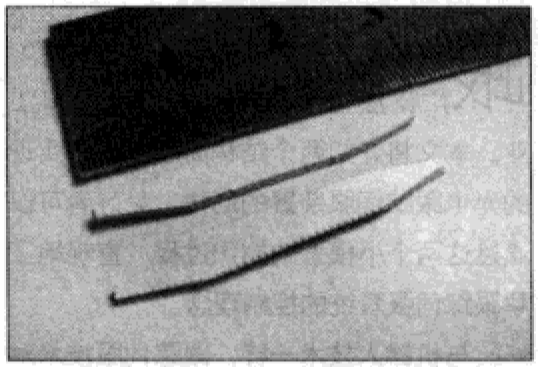
8 剪两片长约2.5cm、宽约0.5cm的PVC方条，作为上臂部分。沿着PVC线槽侧边（存在槽位）剪两块长约2.5cm、宽约1cm的PVC方片，作为前臂部分。如图所示把上臂用502胶水粘贴在小车顶盖上，再把前臂粘贴在上臂上。



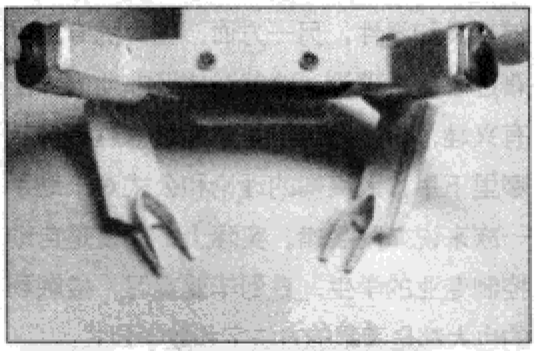
9 把PVC线槽带弯折的部分剪出长约2cm的一段，底部剪成梯形，作为头部。把弯折的角度稍微扩大一些，用502胶水把头部粘贴在上臂顶上。



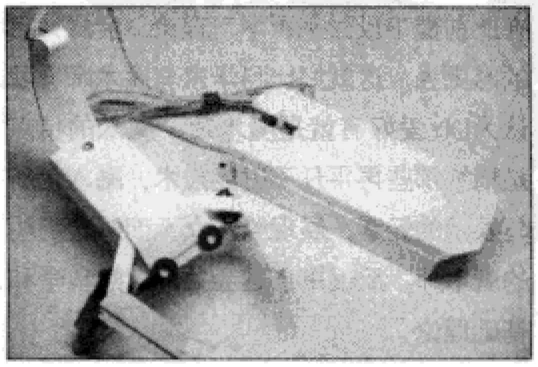
10 剪两段长约3cm、宽约0.3cm的PVC条，并且两端剪尖，整体呈梭状。



11 把两片梭状PVC条进行弯折，做成钳子状，再用502胶水粘贴在前臂上。



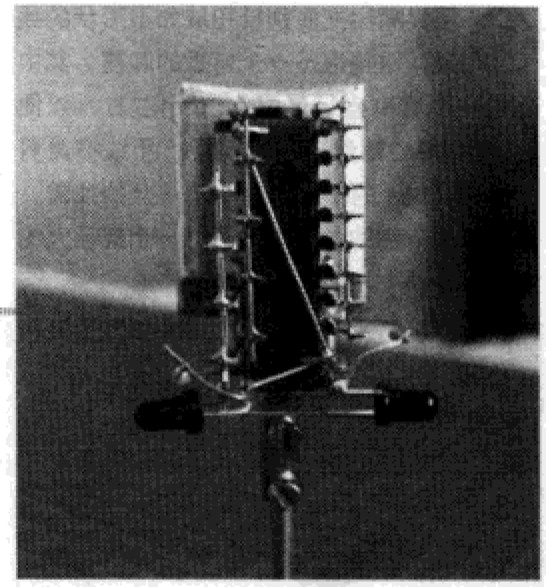
12 把两片M3的垫片用502胶水粘贴到头部前端，做成一对眼睛。至此，“机器蝎子”就制作完成了。Ⓦ



◇臧海波

玩转跟踪伺服 1

超简单的单自由度光电跟踪头



跟踪伺服系统具有捕获瞄准的功能，广泛应用于航天、航空及军事工业。本文将介绍两个结构简单、容易实现的光电跟踪伺服装置的制作。爱好者可以通过这两个小模型的制作过程，直观地了解跟踪伺服系统的控制理念。

与机器人技术一样，跟踪伺服技术对于刚入门的电子爱好者同样属于既爱又恨的话题。一方面，现在购买材料的渠道变多了，你几乎可以在市场上买到所需的任何工具和零件，另一方面，国内的专业书籍过于偏重理论，这就造成了非业内人士有兴趣，想学习，但是越是看书越不知从哪里下手，大篇幅的理论和公式对于动手一族来说如同嚼蜡。实际上，即使是自动控制专业的学生，直到毕业实习，接触到的也大都是满眼的方块字和数学公式。

能不能让事情变得有趣一点？先做出一个实际的东西，不管它是否简单，但是可以帮助我们近距离观察一个系统，然后在这个基础上发现不足，寻找改进方案，在此前提下反过来再学习理论，会觉得目的感更强。这就好比科学家与魔术师，我认为DIY爱好者就是魔术师，魔术的特点是精炼那些再平凡不过的技术，融入创新与娱乐的元素，展现给观众。而越是高明的魔术师，反过来也越会关注自然科学和基础理论。

单自由度光电跟踪头

让我们试着用“低技术”的方式进行思考，一个光电跟踪伺服系统可以有多简单呢？请看如图1所示的电路图，只需要4个零件：两只光敏二极管、一片数字逻辑集成电路、一只减速电机。这个电路对于我这样玩了很多年电子制作的爱好者来说简直就是小菜一碟，这些零件一直是我

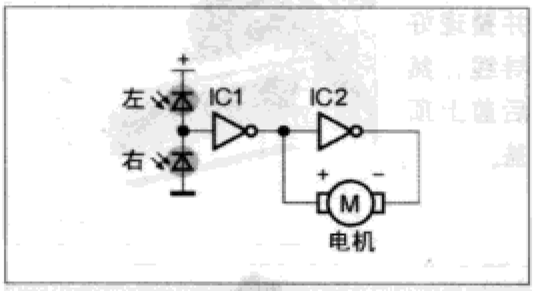
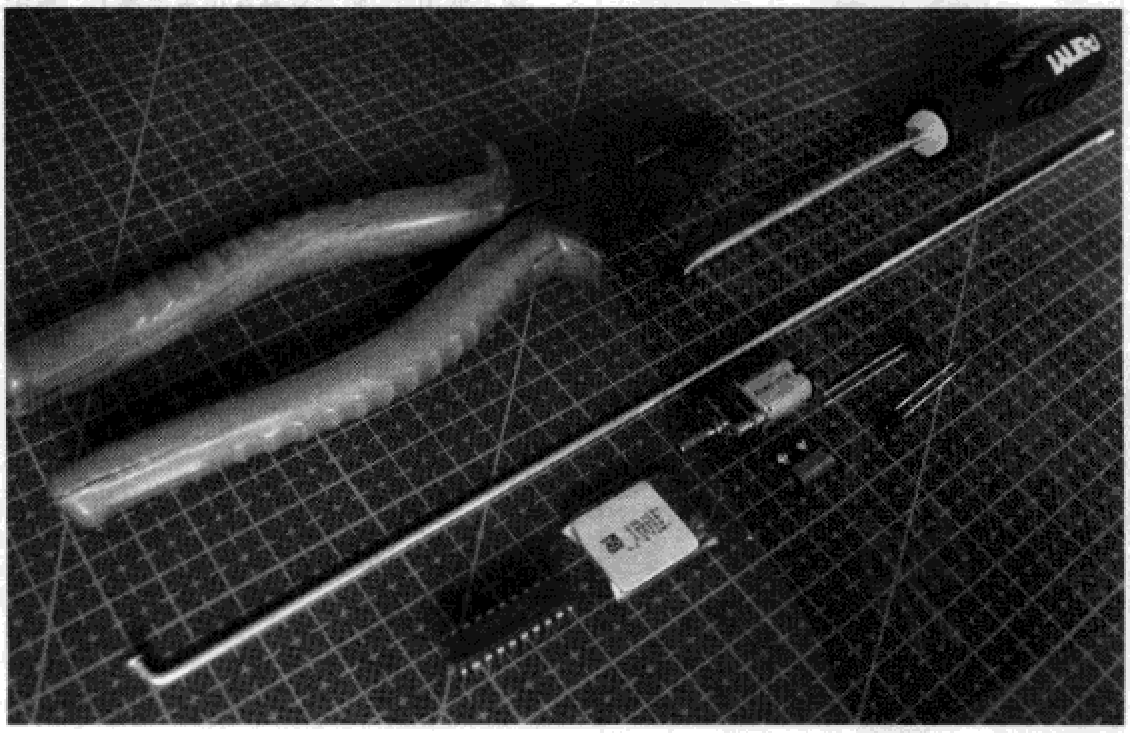


图1 一个简单的光电跟踪伺服系统

材料准备



材料：

>> 74HC240	1片
>> 红外线接收二极管	2只
>> 锂电池	1块
>> 减速电机	1只
>> 车条	1根
>> 端子芯（轴连器）	1个
>> 手机充电器	1个
>> 导线	适量
>> 排针、排座	2位

工具：

- >> 烙铁、焊锡
- >> 止血钳
- >> 放大镜架子
- >> 螺丝刀
- >> 平口钳

工作室库存里面的常备材料，它们真的可以制作出一个能够正常工作的自动控制系统吗？难道这些年我一次次地与这些不起眼的零件擦身而过，却不知道令人着迷的技术就在自己的眼皮底下？最终答案是肯定的，这个电路可以作为学习自动控制系统的一块敲门砖。

对光电跟踪头的两只感光元件没有特别的要求，红外线二极管、光敏二极管、光敏电阻都适用。感光元件串联在电源两端，为了降低强光下的能量消耗，可以采取适当遮盖感光元件的方法，使其在强光下的阻抗不会太低。

74HC240是一片带有施密特触发输入特性的3态8路反相缓冲器，每个反相器的最大输出电流为±35mA。为了能够良好地驱动减速电机双向转动，需要每4个反相器为一组（图中的IC1和IC2为两组）并联驱动电机的一相。芯片的第1、19脚为使能端，实际使用中要接低电平（电源地）。

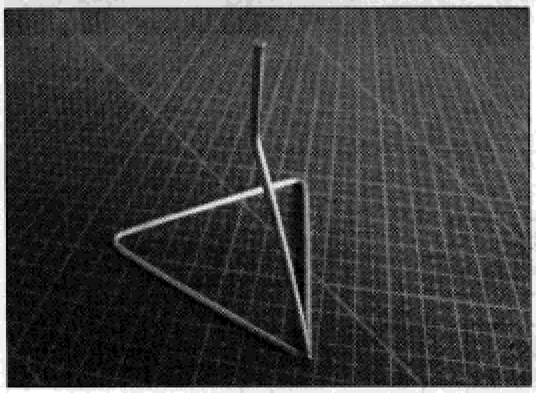
电机为机器人制作中常用的N20微型减速电机，标称电压6V。要求电机转速低于30r/min。这个电路的实际工作电压是3.7V。

端子芯取自工业连接器里面的接线排座。一个排座里可以拆出很多铜质端子芯，结构是一根内径4mm左右的小铜管，两侧有两个螺丝。用它可以很方便地将电机主轴与随动机构连接在一起。

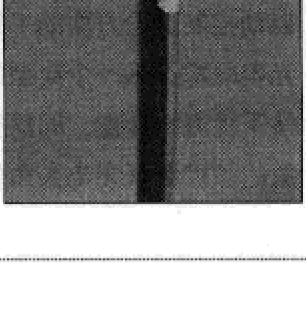
锂电池充电器由废手机充电器改制而成，以两位镀金排针、排座作为充电接口。

制作过程

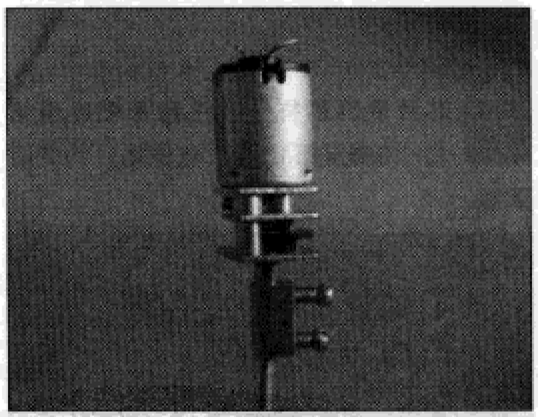
1 用车条弯制一个架子。对这个架子没有特殊要求，你可以发挥创意，使用更有趣的材料，设计出更好看的外形。



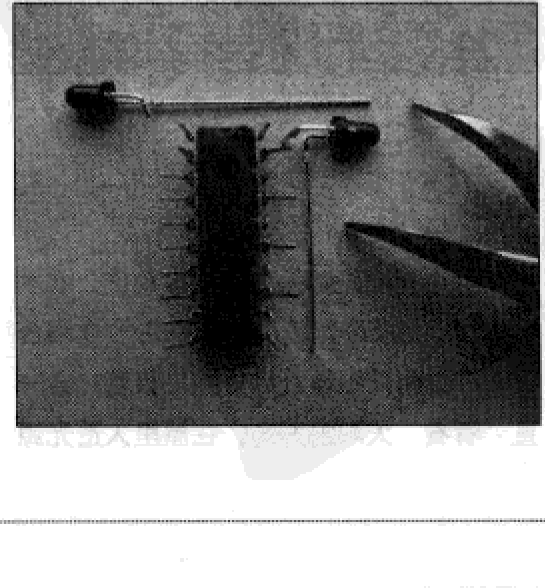
2 把减速电机安装在这个架子顶端。在顶端锉出一个平面，这样可以更牢靠地固定轴连器与减速电机，使它们不会松脱打滑。



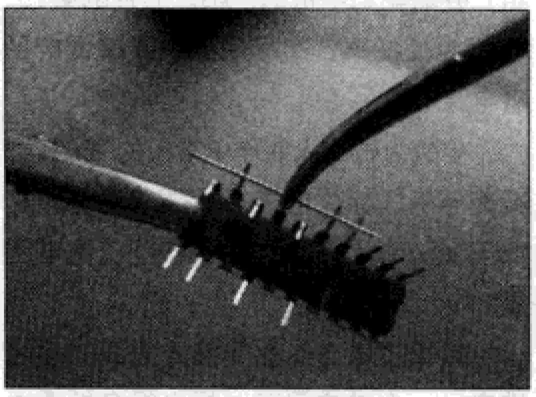
3 用端子芯作为轴连器，将电机固定在架子顶端。电机的主体可以水平360°自由转动。所有的电子元件都将固定在电机上。光电跟踪头运转的时候，下面的架子是不动的。



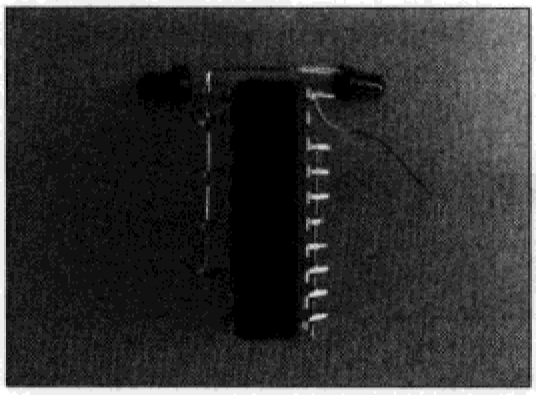
4 最有趣的环节，搭建电路部分。采用芯片引脚搭棚的方式，芯片背部不走线，贴在电机上固定。虽然只有3个元件，引脚跳线也需要事先好好规划一番。跳线是否美观，将决定你的最终作品是一个普通电路还是一个电子艺术品。



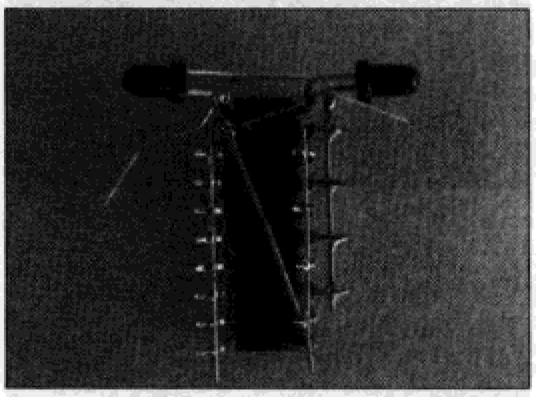
5 用放大镜架子和止血钳辅助进行焊接。引脚上的跳线可以用电阻腿替代。



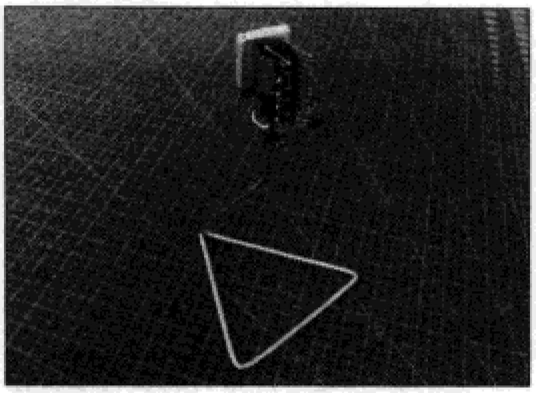
6 焊接完成的电路，注意将光敏二极管的引脚留长一些，方便调整光电跟踪头感光视野的夹角。



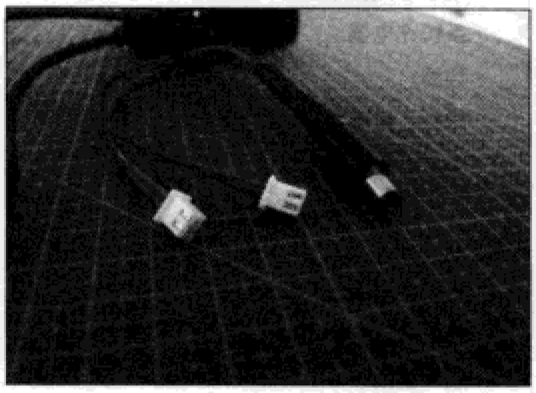
7 芯片底部的样子，注意那根连通第1、19脚至第10脚（电源地）的使能跳线。



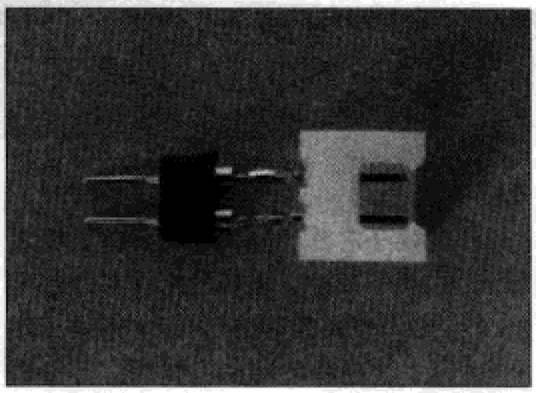
8 光电跟踪头制作完成的样子。将电路部分安装在电机上，电机夹在芯片与电池之间。可以用双面胶或棉线将电路部分固定在电机上。如果必要，可以用一小块薄塑料（包装材料、透明胶带等）将电机的金属外壳包起来，以防短路。



9 最后，给光电跟踪头制作一个充电器。手机充电器的电压一般为4.4~5V，为了安全，可以串一只1N4007二极管，此举可以降低充电电压并起到反接保护的作用。可以多引出几组电源抽头，安上不同的插头，给不同的机器人充电。



10 光电跟踪头比较微小，锂电池的充电口使用的是2位镀金排座。我制作了一个排针转接器，方便给锂电池充电。



11 图示为光电跟踪头的电源接口。没有设置电源开关，直接用导线和排座的连接作为开关。排座也是锂电池的充电口。

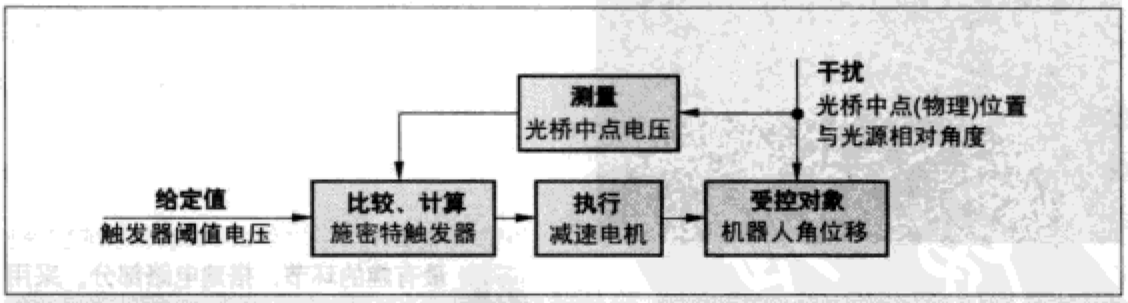


图2 光电跟踪系统框图

结论

这个光电跟踪头可以灵敏动作，在水平360°上跟踪光线。如果把它放在阳台上，它的两只眼镜（红外线二极管）会一直“看着”太阳的方向。在屋里人造光源的环境下，光电跟踪头会一直追着较强的光线旋转。

仔细观察光电跟踪头的运动，会发现它存在一个明显的缺陷：可以找正目标，但是无法锁定目标，跟踪头会在目标区往复振荡。为了深入分析，我给这个系统画了一个框图，如图2所示。

此时，理论的作用凸现出来了。对照自动控制理论方面的书籍，可以看出这个光电跟踪头是一个典型的开式控制系统，按干扰进行补偿，即需要控制的是受控对象的被控量（光电头角位移），而测量的

是破坏系统正常运行的干扰（光线造成的感光元件中点电压变化）。这个光电跟踪头的原理，其实远没有电路图所看起来的那么简单。这可谓是一个麻雀虽小，五脏俱全的自动控制系统模型。为了使它可以更好地锁定目标，可以给它建立数学模型，并进行系统的校正，比如加入阻容元件组成的滞后-超前网络进行串联校正或PID校正。因为简单的无源阻容网络接入系统会受到负载效应的削弱，实际应用中还要借助运算放大器构成有源校正部件。跟着这个思路往下进行，真的需要好好啃啃书本上面的理论知识了。

当然，作为玩家，我们也可以不考虑过于专业的理论问题，试着用常识和经验改善这个系统。锁不死目标的原因之一是电机减速齿轮间隙造成的误差。这个问题直接造成感光元件走不到位，或者走过了。这相当于干扰总是存在，系统因为反复修正干扰造成振荡，解决的办法是增加系统的惯性，比如使用转速更低的电机。从图2可以看出，当比较、计算环节输出的信号为零时，电机是不会产生角位移的。为了达到这个效果，需要感光元件组成的光桥的中点电压的变化尽可能小，使其总是低于施密特输入端的门限电压。你可以试着减小感光元件的夹角，光电头的视野越窄，齿轮转动造成的光电桥中点的电压变化范围越小。通过仔细调整，可以使“电气中点”和“机械中点”达到一种平衡，从而减小振荡。从理论上说，相当于对系统进行滞后校正。

其实，施密特电路本身就具有滞后特性，这是由它的双输入阈值电压来实现的。单输入阈值电路由于只有一个输入阈值，阈值附近的干扰输入信号会导致输出因微小的干扰来回快速翻转。但是对于双输入阈值的施密特触发器，阈值附近的噪声输入信号只会导致输出值翻转一次，若输出要再次翻转，噪声输入信号必须达到另一阈值才能实现，这就利用了施密特触发器的回差电压给系统引入滞后效果。

如果你使用没有施密特输入特性的普通缓冲器制作这个光电头，会发现系统将振荡得更加厉害。由此还可以想到，音响爱好者制作OP+BUF（运放+缓冲）耳机放大器时，都会尽量避免在缓冲级前面使用转换速率过高的运放，并给耳放加入较深的反馈来获得细腻甜美的声音。从某种意义来说，多数音响放大器都属于按偏差调节的闭式控制系统。

换一种玩法

很多读者会觉得光电跟踪头只能在原地旋转，效果还不够酷。其实，只要给它增加一只电机（见图3），并配上一个移动底盘，就可以让它摇身一变，成为一个能满屋跑的寻光机器人。

从图3中可以看出，电路仍然贯彻简单、低技术的风格，只不过多了一只电机。注意制作这个机器人时，需要使用两片74HC240并联，即8个缓冲器为一组，使电机获得足够的驱动电流。制作完毕的寻光机器人小车如图4、图5所示。

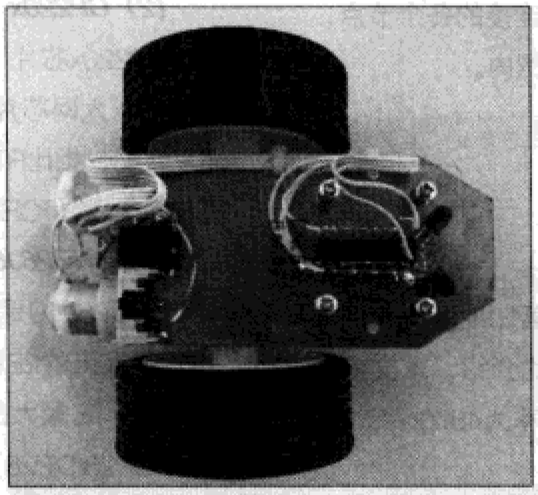


图4 寻光机器人小车顶视图，车体使用一片覆铜板制作而成。

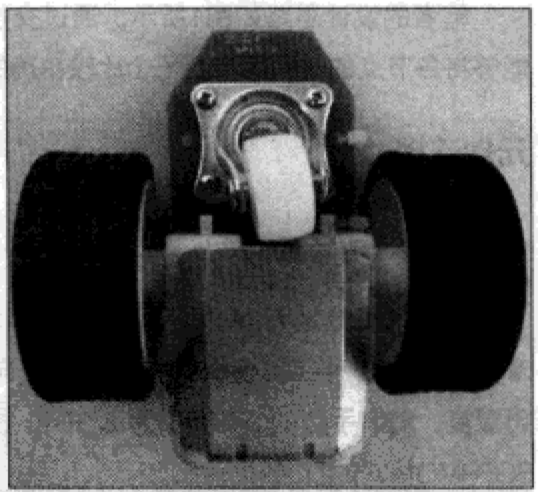


图5 寻光机器人小车底视图，注意两只电机和万向轮的布局，使它们互不影响。

不要小看这个电路简单的机器人，它的动作非常灵敏。最绝的是机器人的两只“眼睛”可以觉察到物体（障碍物、墙壁）的反光，形成一种避障机制。这个机器人可以灵活地寻着光线从里屋跑到光线充足的阳台，并在阳台自由活动，当它快要接近墙壁时，会自己拐弯绕开。别忘了它的控制电路只是由几只成本不足几元钱的电子元件构成的。

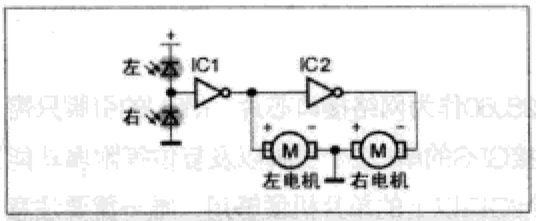


图3 寻光机器人电路图

喜欢动手制作机械结构的爱好者，请关注本文的后续部分。我将制作一个外观超酷、结构复杂的2自由度光电跟踪头，并用神经元电路来驱动它进行横纵双向跟踪，并锁定目标。

基于GPS接收模块的网络时间同步器

◇刘亮

很多情况下，电脑自带的时钟可以给我们提供正常的时间信息，但是随着时间的偏移，电脑的时钟也会跟我们平时用单片机制作的简易时钟一样，积累误差，慢慢地失去“准头”，往往在不经意间给我们的工作带来一些不必要的麻烦；一些对时间比较敏感、需要同步进行的工作会受到影响。

为了解决这个的问题，笔者进行了很多设想，其中精确的时钟源是个难点，既要方便易用，又要经济实惠。最终，笔者选择了当前比较流行的GPS模块作为时钟源，它的时间信号来自于卫星，可以为时间同步系统提供高精度的信号。有了精度较高的时钟源，接下来就是时钟信号的传递。无独有偶，笔者在本刊2011年第10期看到段卫军先生介绍的利用CC1101进行无线传播的方法，深受启发，考虑到远距离以及局域网等同步应用背景，笔者使用了以太网作为时钟信号传递媒介。

笔者的设计思路如图1所示。通过交换机连接的各个节点，能够将各节点的时间同步到一个比较精确的范围内。

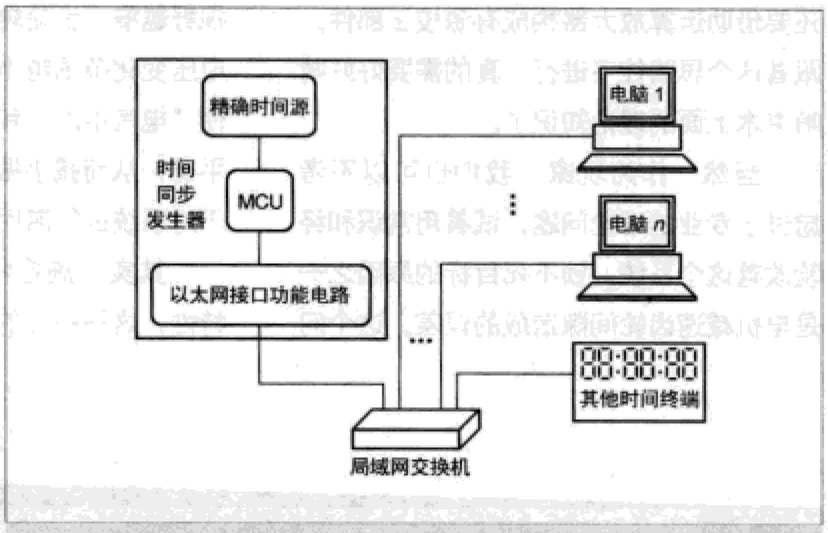


图1 时间同步系统的规划

元件选择

1. 时间基准信号源

时钟信号选定为GPS模块，由于2011年第10期段先生的文章中已经对各种GPS模块的特点进行了详尽的介绍，本文就不再重复。笔者手头的GPS参数为5V供电，波特率为4800bit/s，带$GPRMC格式的TTL数据输出。

2. 网络传输接口芯片

网络传输接口是本同步系统的重点，选择一款合适的接口芯片对于方便制作以及工作稳定性尤为重要。在这里，笔者列出几款单片机常用的网络接口芯片进行对比。

（1）RTL8019AS

RTL8019AS曾经在电脑网卡上大量使用，可靠性非常高，但是由于引脚（PQFP100）众多的原因，用于嵌入式开发时给制板带来不便，而且占用较多的I/O口为后期调试带来很大的麻烦。此款芯片已经停产。

（2）CP220x

CP220x芯片（包含CP2200/CP2201两款）是Silicon lab公司最新的以太网芯片，用于与 C8051系列（也是Silicon lab公司出品）匹配。相比RTL8019等传统的芯片，CP220x芯片有硬件电路简单的优点（TQFP48），而且价格适中，在20元左右。

（3）ENC28J60

ENC28J60是Microchip Technology（美国微芯科技公司）2005年推出的28引脚独立以太网控制器。相比RTL8019AS 和CP220x，它最大的优点是在速度不降的情况下，所占的口线更少（SOP28/DIP28），外围电路简单，可以使用SPI串行接口与单片机通信（4根线）。其价格也比较低廉，在15元左右。

从制作方便的角度出发，笔者选择了ENC28J60作为接口芯片，它占用芯片引脚非常少，焊接容易，甚至可以直接在洞洞板上进行电路布局。

3. MCU主控芯片

由于之前选定ENC28J60作为网络接口芯片，MCU的引脚只需有SPI接口的4个引脚、接GPS的串口2个引脚以及复位等附属功能引脚即可，因此具有8个I/O口以上的单片机便够用，唯一需要注意的是，RAM需要稍大一点。笔者手头的ATMega8L芯片拥有22个I/

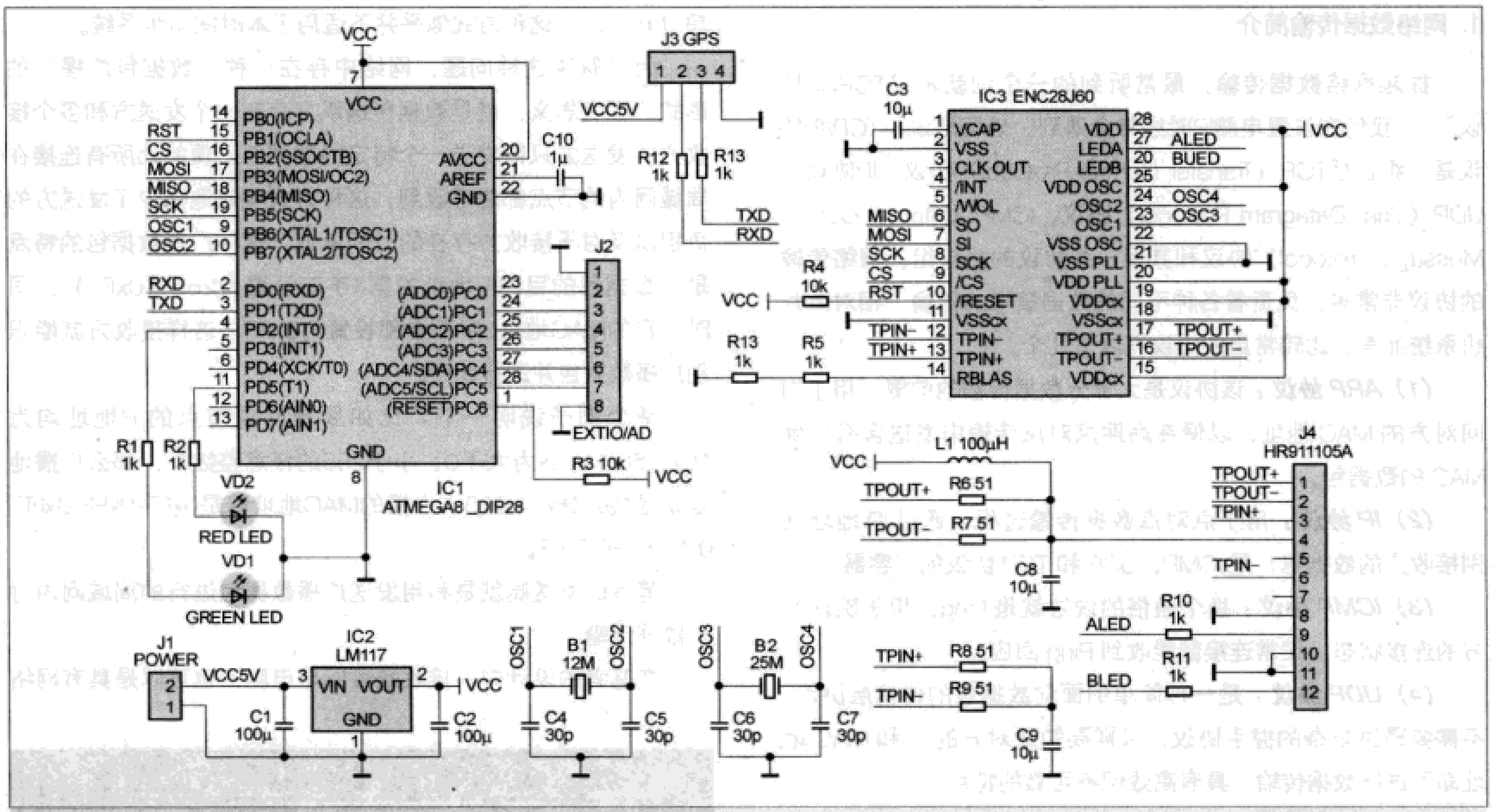


图2 时间同步系统发送端的电路图

O、1KB RAM以及自带硬件SPI接口，非常适合这个制作。

电路设计规划

笔者制作的网络时间同步系统发送端的电路图如图2所示。

这个电路不难，主体由3片IC组成，外加带网络变压器的RJ45接口座HR911105A以及少量的阻容元件。

使用的元件如附表所示。

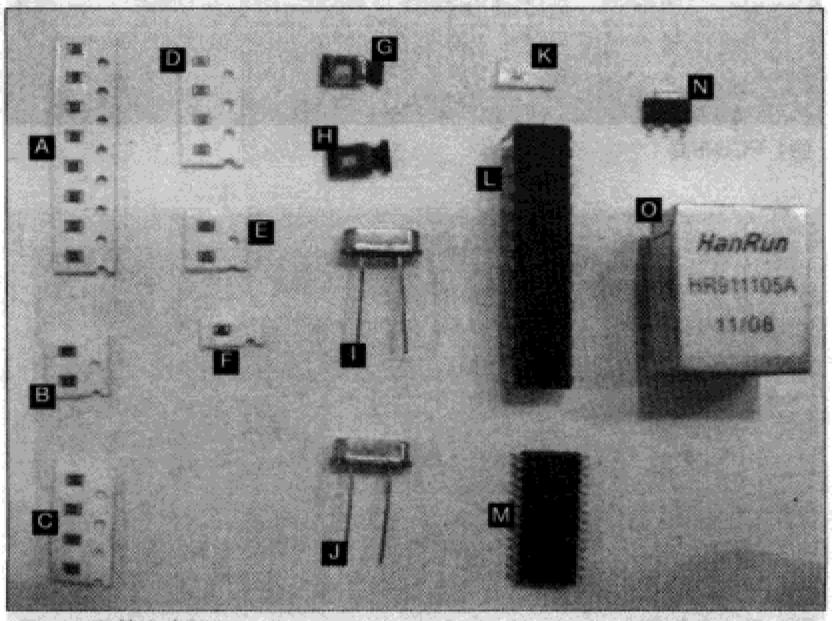


图3 元器件全家福

工作流程简介

从笔者的设计思路中可以看出，时间同步系统分为两部分，一是时间同步网络信号的发送端（下文简称发送端），二是接收处理端（下文简称接收端）。先介绍一下发送端的工作原理。

发送端的主体是GPS信号的接收与网络数据包的发送。不少读者可能对网络数据传送还不了解，在此，进行简要的介绍。

附表

序号	名称	数量	说明
A	1kΩ电阻	8	LED限流4个，串口2个，ENC28J60使用2个
B	10kΩ电阻	2	Mega8L复位一个，ENC28J60复位1个
C	51Ω电阻	4	ENC28J60网络接口匹配电阻
D	27pF电容	4	2个晶体振荡器的启动电容
E	10nF电容	2	ENC28J60网络接口匹配电容
F	1μF电容	1	ENC28J60内部稳压滤波电容
G	绿LED	1	用于指示网络数据接收状态
H	红LED	1	用于指示GPS数据接收状态
I	12MHz晶体振荡器	2	Mega8L晶体振荡器
J	25MHz晶体振荡器	1	ENC28J60晶体振荡器
K	100μH电感	1	ENC28J60网络接口匹配电感
L	Mega8L	1	主控MCU
M	ENC28J60	1	网络接口芯片
N	LM1117	1	3.3V稳压芯片
O	HR911105A	1	带网络变压器的RJ45接口

1. 网络数据传输简介

提起网络数据传输，最常听到的一个词就是“TCP/IP协议”， 我们在设置电脑IP时经常会遇到。确切地说，TCP/IP协议是一组包括TCP（Transfer Control Protocol）协议、IP协议、UDP（User Datagram Protocol）协议、ICMP（Internet Control Message Protocol）协议和其他一些协议的协议组。网络传输的协议非常多，负责着各种不同的数据信号的传输，相对单片机系统而言，比较常用的协议有以下几个。

（1）ARP 协议：该协议是大部分数据传输的前提，用于询问对方的 MAC 地址，以便在后期点对点传输中发送含有正确 MAC 的数据包。

（2）IP 协议：用于点对点数据传输过程，通过 IP 地址判别接收方的数据包，是 ICMP、UDP 和 TCP 协议的“容器”。

（3）ICMP 协议：换个通俗的说法就是 Ping，用于确认对方的连接状态，正常连接就能收到 Ping 回应。

（4）UDP 协议：是一种简单的面向数据包的传输层协议，不需要通过复杂的握手协议，只需要知道对方的 IP 和 MAC 地址即可进行数据传输，具有高效但不可靠的特点，

（5）TCP 协议，是一种高可靠性的包交换传输协议，通过复杂的握手、重发、回应协议机制进行传输，和 UDP 相反，具有冗余、可靠的特点。

这5个常用的协议只是众多网络协议中很小的一部分，却负担着网络传输大部分任务，由此看来，网络传输并不是很多读者想象的那么复杂和难以理解。

2. 时间同步系统的网络传送协议

对于发送端而言，要进行网络传输的最基本协议更少，只需要3个：ARP协议、IP协议以及UDP协议。不过，为了检验网络连接的情况，加上ICMP协议，可利用Ping工具快速检测发送端的网络状态。

也许有读者会奇怪，上文提到的UDP是不可靠的数据传输方式，为何还在此使用。其实UDP的不可靠主要是相对TCP而言的，它缺乏传输控制机制，而不是很多人认为的无法正常传输。一般情况下，局域网内UDP很少丢包。举个例子，很多人使用的QQ聊天工具就是使用UDP协议进行数据传输的。

网络数据传输通常情况下以“点对点”的形式存在，在这种传输方式中，只存在一个发送方和一个接收方，建立数据通信前，需要知道接收方的IP地址以及对应的MAC地址。如果一个网络中有几十台甚至上百台电脑，则需要使用大量的存储空间去一一记录节点IP与MAC地址的对应关系，而且随着节点数目的增加，数据传送的周期也会达到秒级，也就是说第一个节点接收到信号的时刻与最后一个节点接收到信号的时刻会相差超过1s，因此这种方式似乎并不适用于本时间同步系统。

为了解决这种问题，网络中存在一种“数据包广播”的形式。顾名思义，就是数据传送双方存在一个发送方和多个接收方，发送方只需发送一个特定的数据包，便能让所有连接在局域网内的节点都能够收到，这种方式有效地减少了发送方的负担以及对于接收方存在的时间延迟。这种广播数据包的特点是：数据包的目的IP地址的第4字节设置为255（0xFF），同时，目的MAC地址6字节全部设置为0xFF，这样接收方就能识别广播数据包并进行处理。

举个例子说明一下：比如局域网内节点的IP地址均为192.168.1.x（x为大于0、小于255的任意整数），那么广播地址就是192.168.1.255，广播的MAC地址就是0xFF-0xFF-0xFF-0xFF-0xFF-0xFF。

笔者的发送端就是利用发送广播数据包进行的局域网内时间数据传输。

在笔者的设计中，接收端可以是电脑，也可以是具有网络

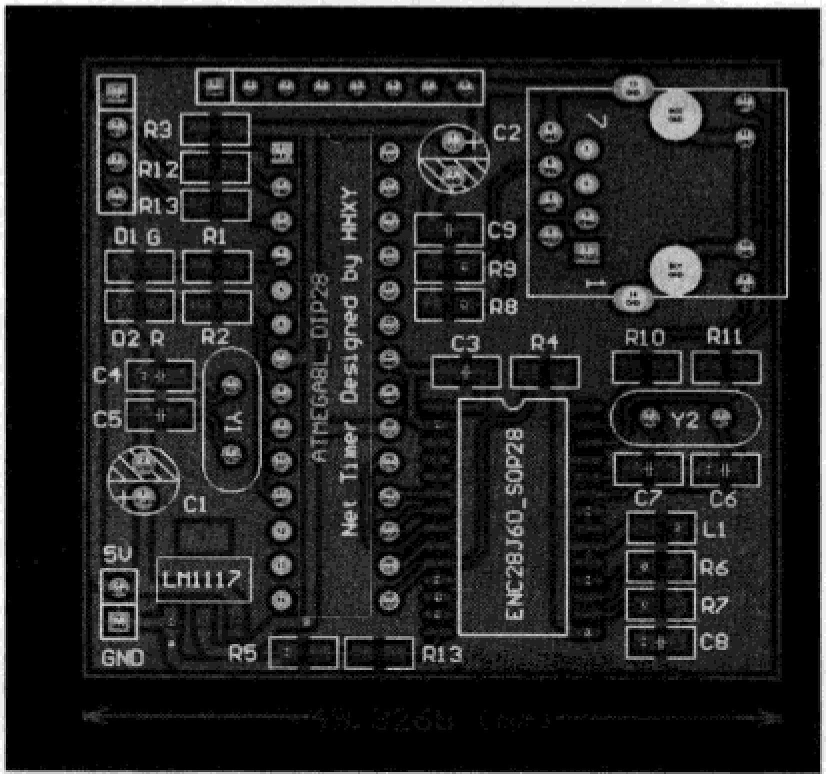


图4 PCB布局

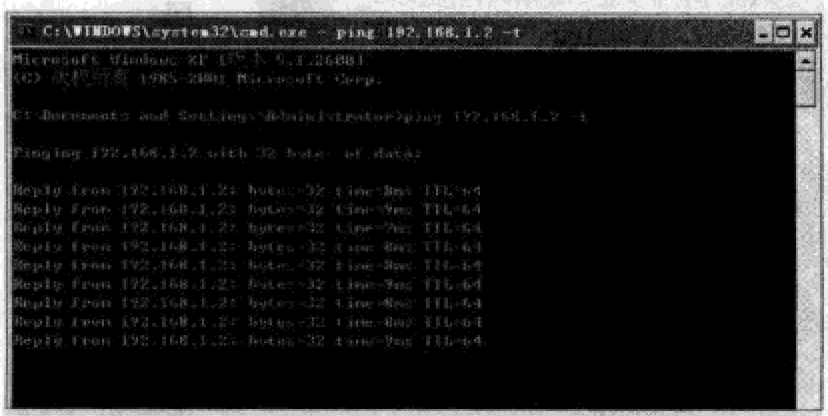


图5 Ping命令测试

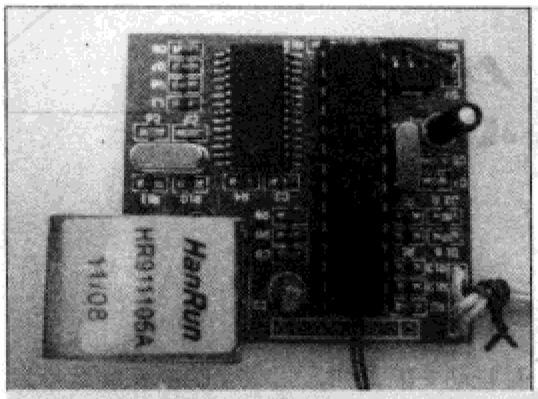


图6 焊接完成后的实物电路正面

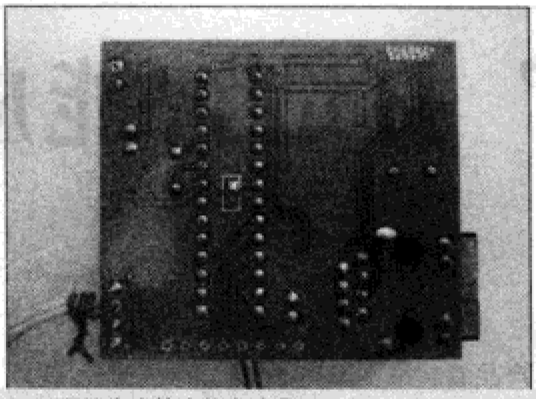


图7 焊接完成的实物电路背面

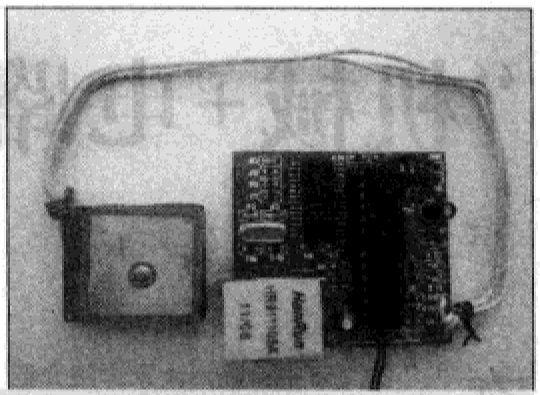


图8 与GPS模块连接全貌

接口的任意设备，它们同样只需要具备ARP、IP、UDP协议即可，为了方便调试使用，可加上ICMP协议。

笔者利用VC编写了一个在电脑运行的上位机程序，接收处理发送端的网络数据包，并能够实时对电脑的时间进行调整，以达到时间精确同步的目的。

焊接安装与调试

元件不多，电路结构比较简单，PCB布局如图4所示。

只要焊接无误，单片机上电烧写程序后即能正常工作。笔者试制了几个，均一次成功。发送端的IP固定为192.168.1.2。具体使用时，发送端与接收端一般采取图1所示的连接方式，网络中其他电脑需将IP设为192.168.1.x（x为大于2、小于255的任意整数），如果直接与电脑相连，注意连接的网线需用交叉线。

发送端的调试比较简单，如果遇到问题可以按照以下的步骤进行：

1. 首先看板载的两个LED，在未接入GPS模块与网络前，绿色与红色的均会闪动后停留在点亮的状态，这一点可以用来指示代码是否正常运行。

2. 接入GPS模块后，Mega8L每次检测到GPS模块输出的$GPRMC语句，均会将红色LED状态取反，频率为1s一次。如果频率不正常，则要检查GPS模块的输出波特率与Mega8L串口接收波特率是否匹配，或者检查GPS串口输出是否收、发接反。

3. 接入网络后，带网络变压器的RJ45接口座HR911105A（以下简称HR911105A）的黄色灯代表网络链路状态，正常的情况下是常亮，绿灯随着红色LED的状态改变而发生闪动，表示每秒发送一个广播数据包。如果黄灯未点亮，则要检查网线是否连接正常，或者ENC28J60外部电路是否连接正常。

4. 由于集成了ICMP协议，正常连接后，可以使用Ping命令：Ping 192.168.1.2 –t，进行简单的连接测试，正常情况如图5所示。

5. 以上均正常后，一般发送端已经可以正常工作了，可以打开笔者编写的软件进行查看，如果软件上的时间能正常运行，就说明成功了。

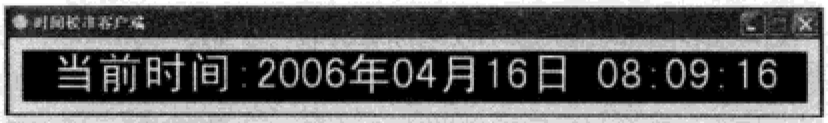


图9 上位机正常运行

实际效果

由于GPS定位需要一定时间，因此可能刚打开软件时会发生时间偏差比较大的情况，等GPS接收到时间信号以后就能看到正常的时间了。上位机正常工作界面如图9所示。

总结

本时间同步系统设计之初就本着尽量精简的原则，删除了不必要的协议，仅保留了最必需的4个协议，因此，这个时间同步系统代码相当精简，只占用了Mega8L大约1/3的代码空间。当然，它的功能也仅能完成时间数据包的发送功能，一些复杂的网络功能，如网页访问、自动IP获取等功能就无法实现，不过这些都是可变动的功能，读者可以根据需要自行增减。

经过一段时间的试用，该系统运行稳定，GPS的精度为1s，加上局域网内部的网络传输时延（大约几十毫秒），服务器与网络节点电脑的时间保持严格一致，能够满足日常的应用。为了方便大家制作，下位机、上位机的代码与PCB文件均可在《无线电》网站www.radio.com.cn上下载。

服务器发送的数据格式与标准GPS数据的$GPRMC语句一致，按照图1的同步系统规划，可在系统内添加一个外置的时钟，通过对网络数据包的解读处理，分离时间数据进行显示，也可利用服务器主控芯片Mega8L内部AD资源以及外围器件进行功能扩展，欢迎有兴趣的读者与笔者进行交流。

“机械+电路”打造智能应急灯

◇王平

在去年的文章中，我为大家详细介绍了热转印法设计、制作单面板和双面板的详细步骤、设计规则和注意事项。通过前两篇文章的学习和模仿，我想大家一定对热转印法制作PCB有了更深层次的了解。

现在，我为大家介绍一种机械与电路混合的设计方法，这种方法会对广大读者提出更高的要求，但作为一名合格的硬件工程师，我个人觉得机械设计是必不可少的。大家回想一下，工科类大学是不是在第一学年都要学习工程制图这门必修课，所以想成为一名合格工程师的同学们，请认真地把工程制图这门课学好，如果你学好了这门课，你至少已经符合半个工程师的要求了。没学过的朋友们也不必担心，熟练掌握一门机械设计软件就行了，在这里我向大家推荐Solidworks，这款3D设计软件简单易用，交互接口丰富。掌握这个软件后，你可以为作品设计一个超酷的外观，并为所有的元器件建立3D封装，直接模拟真实器件焊接在PCB上的效果。这不仅能在实际制作前很好地做模拟演示，还能充分与外壳、接口等后续设计进行更精准的模拟配合。

把机械与电路混合设计的方法应用于DIY中，是把DIY当作产品来设计。现在很多电子产品不会是单纯的一块复杂的电路板，大多都会有机壳，外观会做得很炫酷，按键、显示布局合理，要么符合工程美学，要么符合人体力学。现在不是强调以人为本么，产品外观更炫目，使用操作起来更人性化，自然产品的市场竞争力会更强，所以要求电子工程师不仅要站在设计人员的角度设计出符合各种电器规格的电路，同时也要站在消费者的角度，希望产品看起来更漂亮，用起来更舒服。就算是业余爱好的DIY，大家也都希望有个赏心悦目的外观设计。

很多爱折腾的DIY爱好者一定会对如下情况非常熟悉：先设计电路板，然后把制作好的电路板、功能接口等找个合适的机箱装起来，在前后面板上开出各种接口的固定孔，机箱是去电子市场买的现成的。有些动手能力强、工具全的朋友会选择自己DIY，这时候你会发现给面板打各种孔是一件很费时费力的事情，打圆孔还好，打方孔真的很要命，更别提那些异形孔，需要后期拿锉刀慢慢“修整”，稍有不慎就会把面板给毁了。比如有些电路板上会有一些输入/输出接口，必须要放在前面板上，如何准确定位才能保证电路板的准

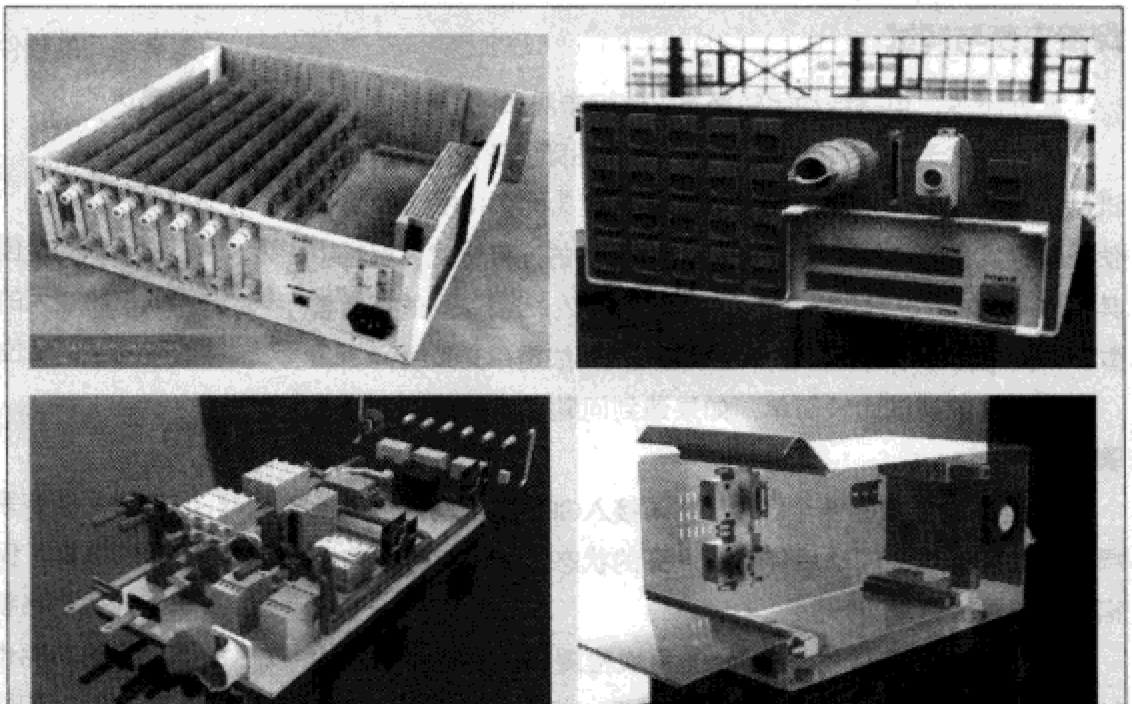


图1 笔者的一些设计实例

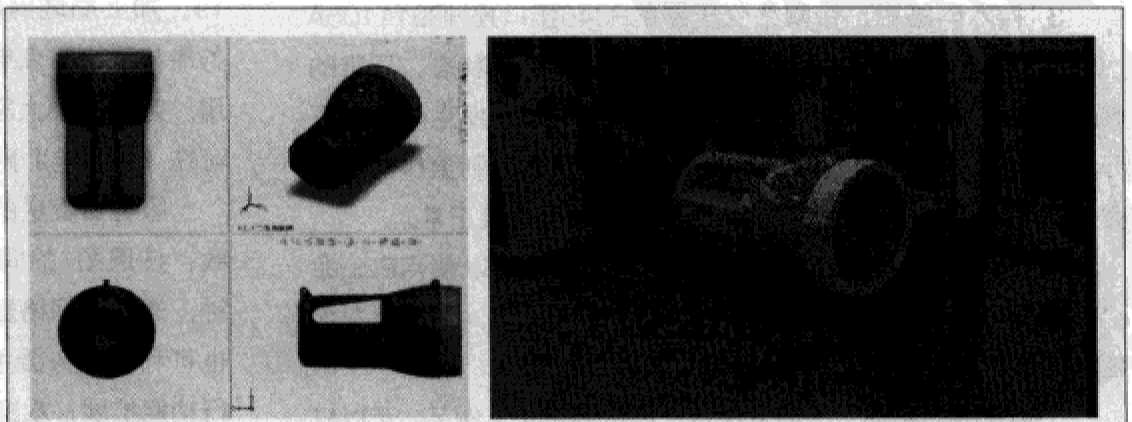


图2 应急灯的3D外观模型

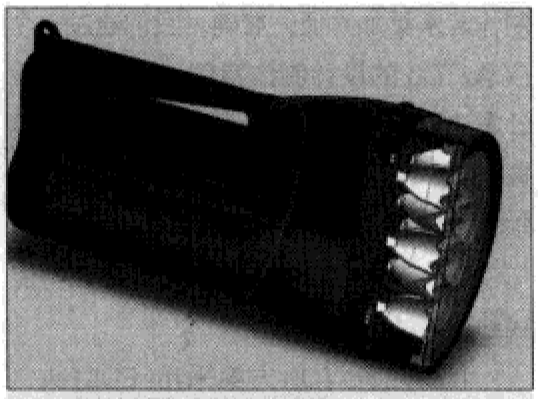


图3 应急灯内部电池仓的建模

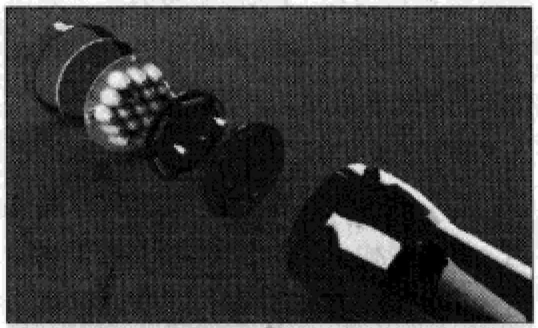


图4 应急灯的建模结构

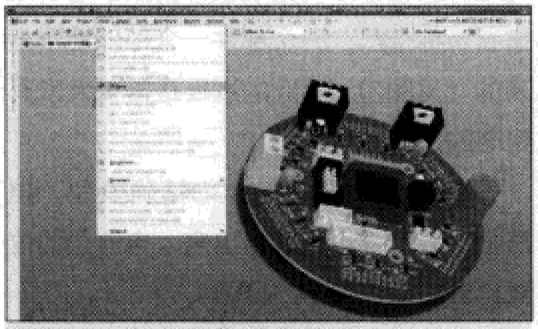


图5 在Altium Designer中的选项

确安装呢？另一种情况是，你先买来了机箱，然后设计电路板，那么如何让自己设计的板子能正好用上原来机箱自带的PCB固定孔？有时候这些看似微小的问题，却浪费了我们很多时间。

好在我们生活在计算机技术高度发达的今天，很多高级设计软件已经充分考虑到了这些情况，软件间协同交互设计，不仅能提高开发效率，而且最大限度地降低浪费，让所有问题都在虚拟环境下模拟并得到解决，大大提高了产品开发的成功率。

图1展示的是笔者在工程实践中运用机械与电路混合设计法，设计、制作的一些作品图片。

我们也可以把这种设计方法运用到DIY中，让DIY出来的作品更加美观，加工

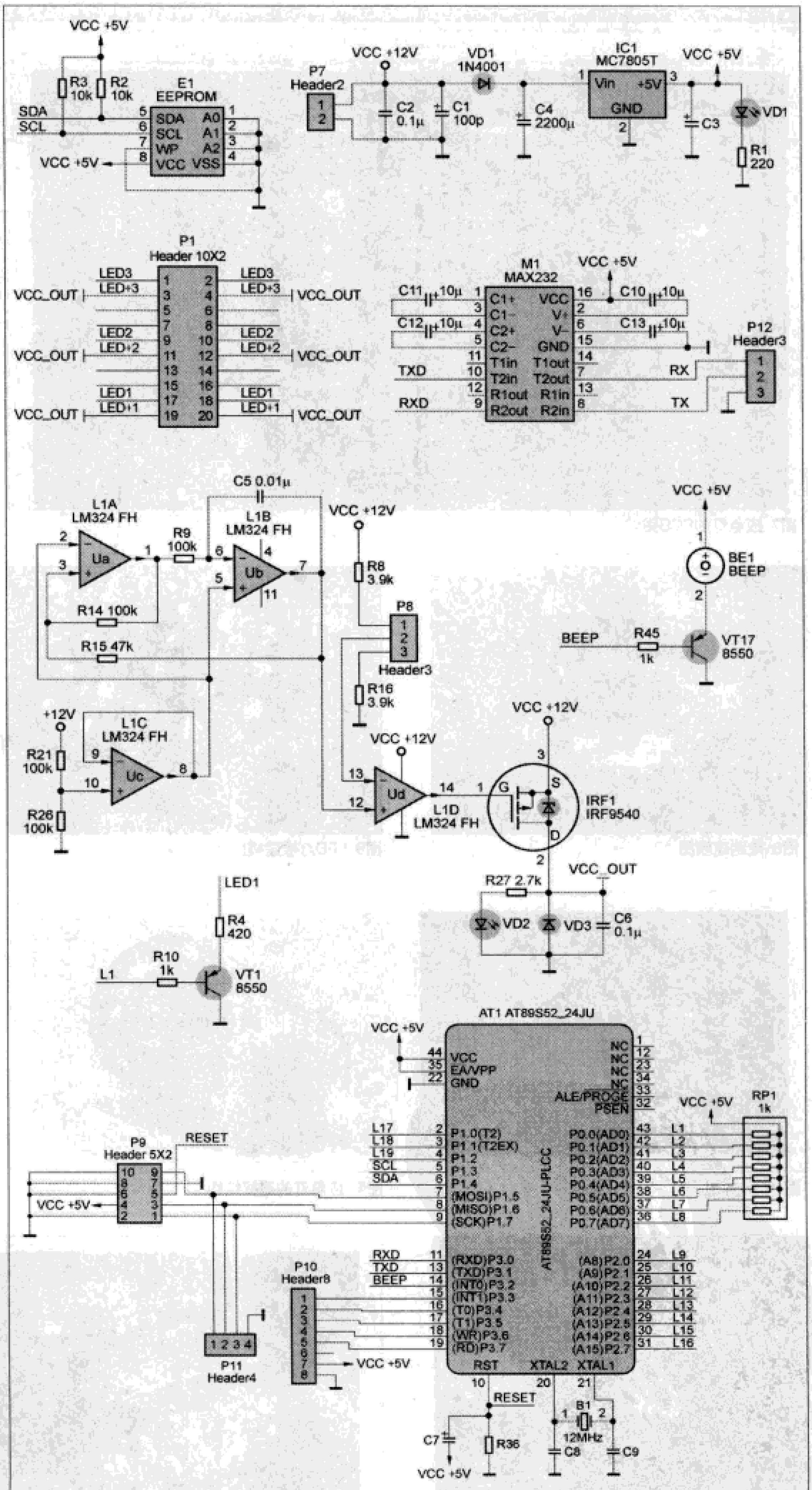


图6 智能应急灯相关电路原理示意图

制作起来更加方便、准确。我们通过一个应急灯DIY的设计制作实例来了解这种设计方法，在这之前希望大家能至少熟练掌握一款PCB设计软件和一款3D机械设计软件，笔者使用的分别是Altium Desinger与Solidworks，这两款软件在网络上都能找到不错的视频教程。

我的应急灯DIY方案采用LED灯头，锂电池供电，采用电源管理芯片对电池充放电进行监控，PWM无极调光，采用MCU作为主控来编写求救灯语或在紧急情况下发出报警声，方便搜救人员定位。在方案确定后，我们先进行机械部分的设计。我购买了合适的应急灯的塑壳，要在这个塑壳中构建LED控制电路，先要对塑壳进行3D机械精确建模。这个过程中，我们得认真对待每一个部件，因为这最终决定着其他部分的安装设计精度。笔者是拿着游标卡尺，一个部件一个部件地画出来的（见图2），DIY的过程是需要大家有耐心的。

有了应急灯塑壳的3D精确模型，电路板边界尺寸也可设计出来，电池仓的位置也就可以确定了，见图3。

图4从左往右依次为：灯箍、透明玻璃、聚光灯杯、LED灯板、LED控制核心板、应急灯灯座（包括扶手和电池仓）。在Solidworks中把该模型装配体另存为STEP格式文件，把STEP格式文件导入到Altium Desinger中便可以开始电路设计了。在新建的PCB文件中点击Place→3D Body（见图5），在弹出的对话框中选

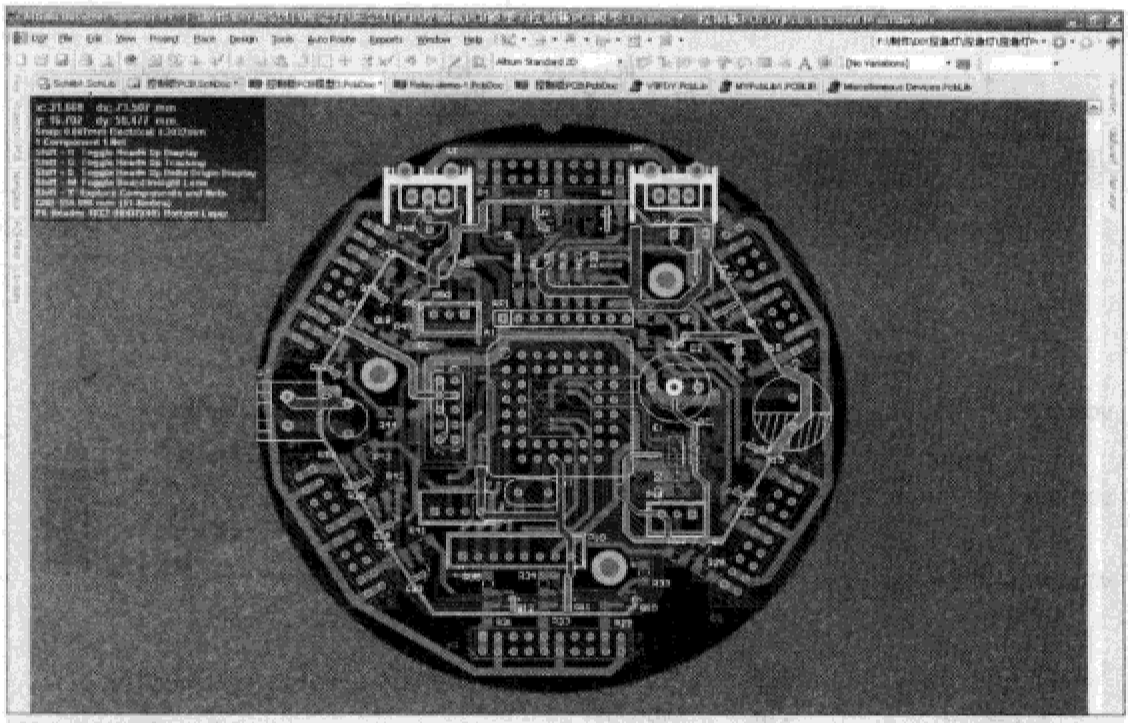


图7 应急灯的PCB图

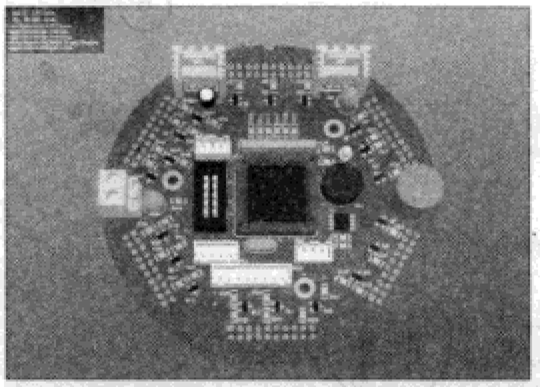


图8 电路建模图

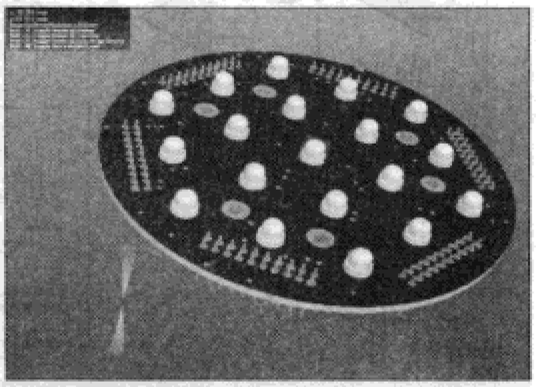


图9 LED灯板建模图

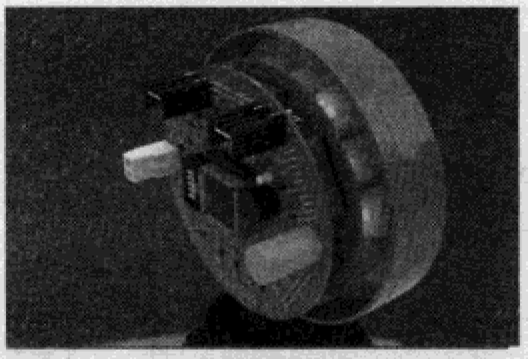


图10 装备图

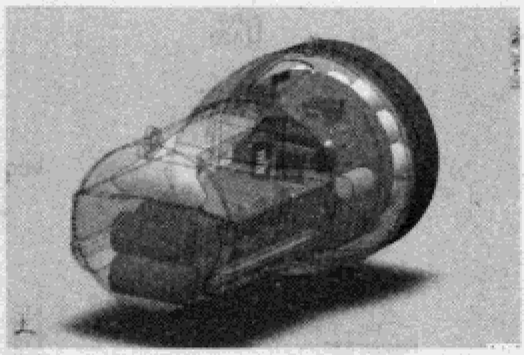


图4 应急灯的建模结构

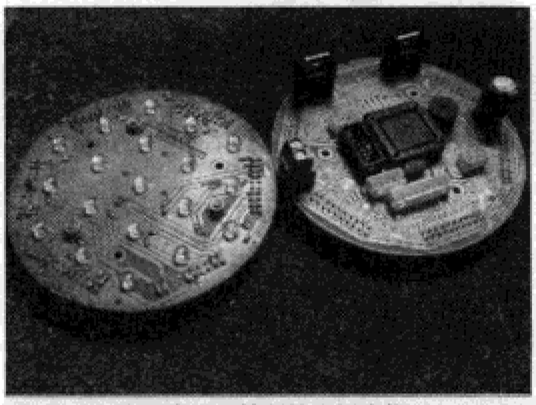


图11 LED灯板与LED控制核心板实物

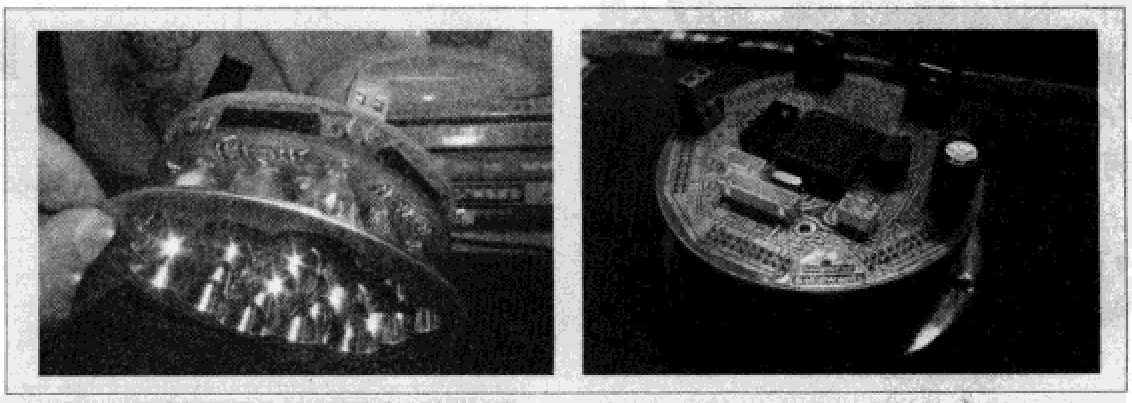


图12 组装好的灯头

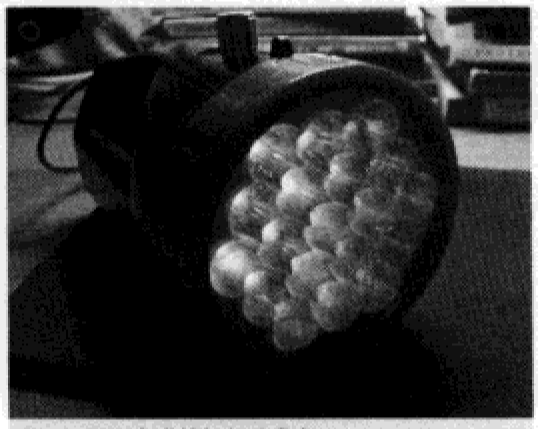


图13 制作完成的智能应急灯

中Generic STEP Model和Link TO STEP Model。当Solidworks中更新机械模型的时候，Altium Desinger会感知这种更新，提醒用户是否更新模型，功能的确很强大。

在导入的模型中，选择PCB板框来确认最终的PCB形状，直接从3D模型中转换，无需手工绘制，确保了PCB板框模型的精度。这样我们就可以开始进行控制板电路的设计了。我采用的电路原理图如图6所示，设计完成的PCB图及电路建模图如图7、图8所示。同理，可完成LED灯板的建模设计，如图9所示。

在设计好PCB文件后，需要验证设计好的PCB文件与3D机械模型之间能否匹配，只需把PCB文件另存为STEP格式文件，然后再导入Solidworks中重新进行装配，以验证PCB设计是否对机械外壳造成干涉。导入后的装配图如图10所示。

在干涉检查后，如果发现有干涉的部分，可以对PCB零件的摆放位置进行调整，直至符合设计要求，这样就可以保证产品一次设计成功。

在完成所有的检查后，我们可以利用热转印法来制作电路板，最终完成的电路板如图11所示。装好灯头部分，见图12。

焊接、组装、调试，编程，最终一台智能应急灯就制作完成了，成品如图13所示。

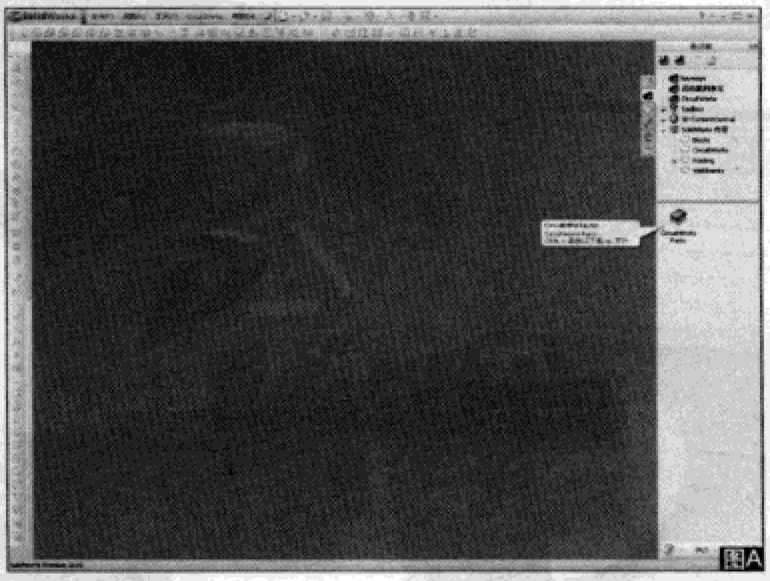
大家在业余DIY中，运用规范的设计方法和设计手段，不仅可以制作出满足自己需求的作品，而且其性能和外观甚至可以接近于工业产品。相信广大电子爱好者掌握多种工具软件，协同运作，会做出更好的DIY作品。

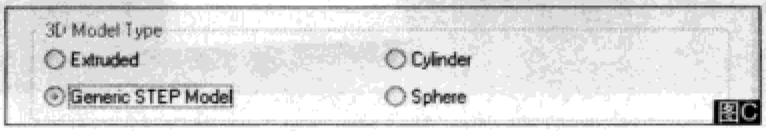
■ 本文相关的制作资料及基本源程序可在本刊网站www.radio.com.cn上下载。

Tips

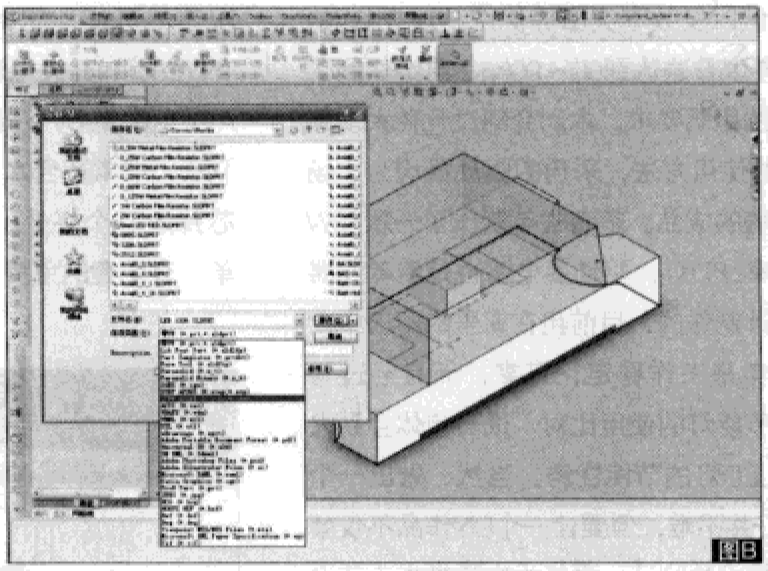
Solidworks的设计库中有Solidworks内容一项，点击CircuitWorks，会出现图A所示图标，点击该图标，可下载官方提供的一个零件3D库，库中提供了一些常用元器件的3D封装，只要你打开任意一个零件装配体，然后另存为*STEP格式，如图B所示，就可以导入到Altium Desinger中的封装库中，为元件添加3D封装。打开Altium Desinger中的封装库，点击Place→3D Body，选择如图C所示。

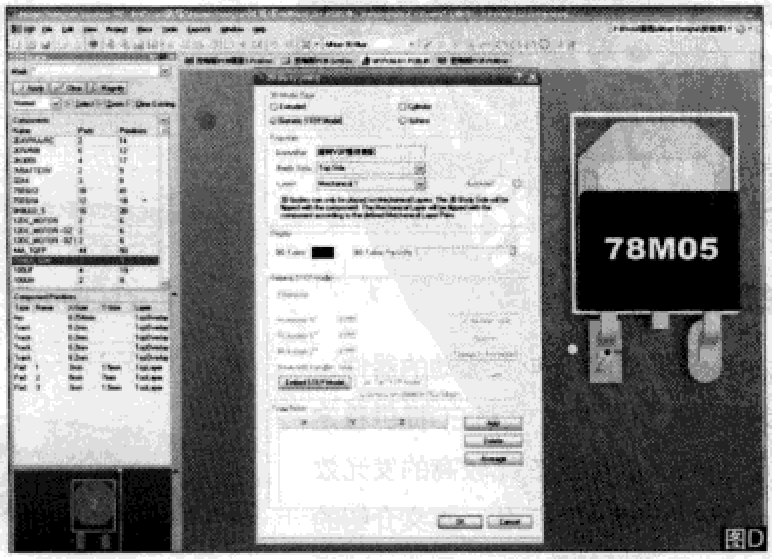
再点击图D中的“Embed STEP Model”，选择另存为STEP格式文件，便可加载3D封装。


图A



图C


图B



图D

◇李光

12W PK 21W
——大功率LED照明灯让节能更进一步

采用大功率LED照明是当今照明领域的发展方向。与传统的照明灯相比，LED灯具有寿命长、可靠性高、维护费用低以及效率突出等优点。现在1W的LED亮度普遍达到80~90lm，已经达到了普通的照明要求。本刊介绍过几种大功率LED的使用方法，采用的驱动器均为市场上销售的成品。笔者去年制作了一款12W大功率LED灯，驱动器电路也是用普通器件设计制作的，目前用在家里的厨房中，近一年来工作稳定、可靠，而且经过与21W节能灯的使用比对，进一步体会到大功率LED灯的节能优势。当然，做出一个LED灯并不难，但要让一个DIY作品不仅禁得起技术的验证，更能为生活带来工艺设计上的乐趣，就需要发挥制作爱好者的奇思妙想。

这个照明灯具主要由恒流驱动电源、散热器以及12颗大功率LED等组成，实际照明效果见题图。

恒流驱动电源

由于大功率LED是电流驱动的器件，要求为恒流源驱动方式，为LED提供稳定的恒定电流，保证LED在比较高的发光效率和比较低的光衰减下工作。本文介绍的照明电路主要在家庭中使用，因此电路采用市电220V供电，开关电源为恒流恒压形式。

为使电路在保证稳定、可靠的情况下尽可能地简单化，电路采用常见的TNY280PN开关电源IC，该IC在85~265V AC工作电压下最低连续输出功率为14W，非常适合本电路。另外，采用这个芯片还有个好处，就是电路可以足够简单，有配套的免费设计软件，降低在业余条件下制作开关电源的难度。

灯具上采用了12颗1W白色LED串联发光，每个LED工作电压为3.25~3.5V，工作电流为325~350mA(不同厂家产品会略有不同)，因此，要求电路最大输出电压为3.25V×12=39V，电流为恒定325mA，开关电源部分采用的是IC生产商的标准电路，具体参数可用PI Expert 8.0电源设计软件计算所得。

PI Expert 8.0电源设计软件

我先用PI Expert 8.0进行了TNY280设计参数的计算。具体方法是：

① 运行 PI Expert，单击“新建”快捷键，产品系列选“Tiny Switch”，系列选“Tiny Switch-III”，封装选“PN（DIP-8）”，外壳选“Adapter”（图 1）。

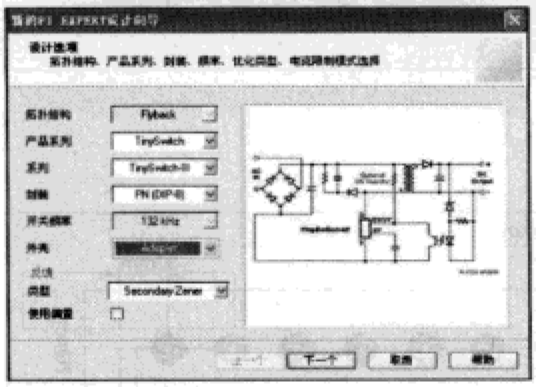


图1 PI Expert新建

② 单击“下一个”，交流默认值选“85～265V”（图 2）。

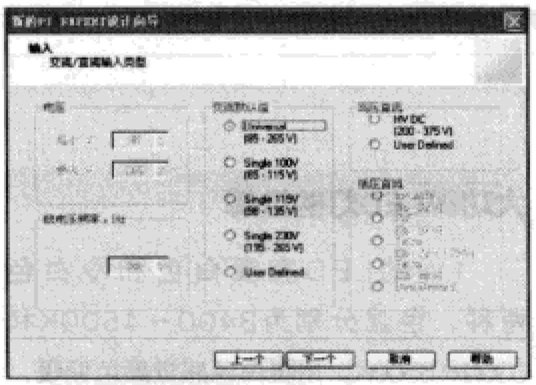


图2 交流默认值选“85～265V”

③ 单击“下一个”，添加输出电压为39V，电流为0.35A（图3），确定后，进行下一个（图4）。

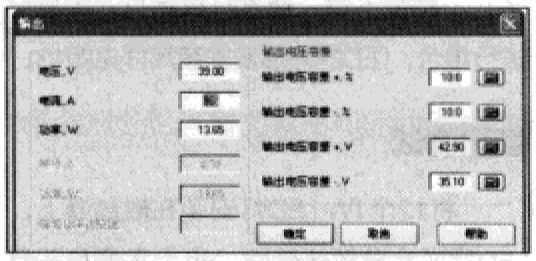


图3 选定电压、电流

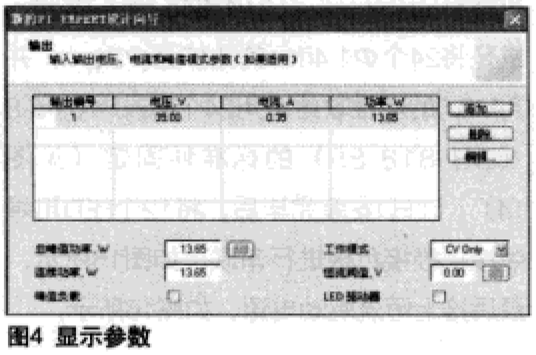


图4 显示参数

④ 单击“下一个”后，再单击“完成”（图5），会提示选择圈数和磁芯（图6），一般选择默认，确定后，就会出现几个方案（图7），一般选择第一个。单击“打开”后，出现示意图，这是一个标准的开关电源电路图，还有设计结果、印制板布局、元器件清单等信息可以作参考。开关电源中较难制作的是变压器，这时可选择“变压器构造”，里面有详细的制作方法，照着仔细做，一般都能成功。由于线圈比较少，手工绕制即可。需要注意的是，绕的时候线圈要均匀，否则很有可能绕不下。如果磁芯买不到方案中的型号，可以查找参数接近的磁芯替代，我就是用EFD20代替EE19的。另外要注意同名端，别绕反了。

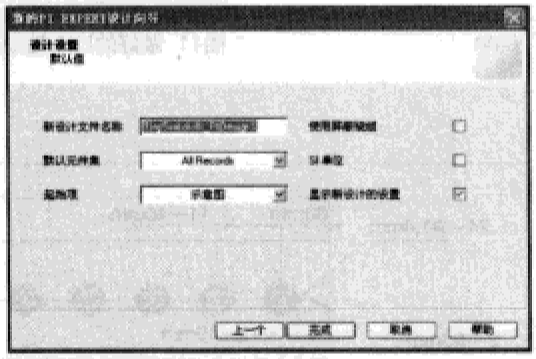


图5 确定完成

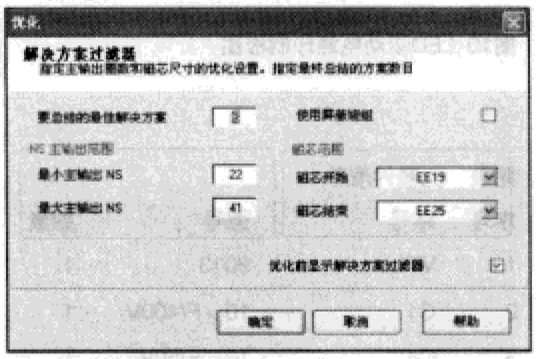
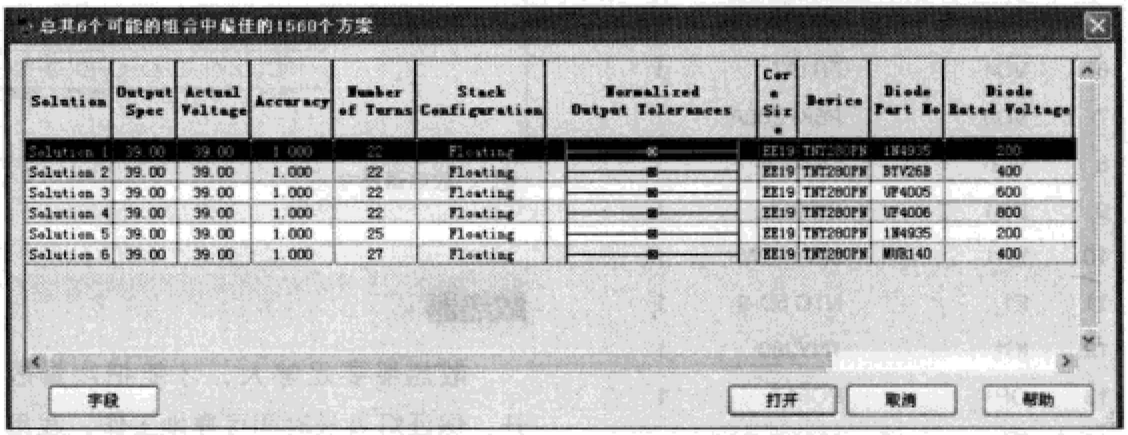


图6 选择圈数和磁芯


总共6个可能的组合中最佳的1560个方案

Solution	Output Spec	Actual Voltage	Accuracy	Number of Turns	Stack Configuration	Normalized Output Tolerances	Core Size	Device	Diode Part No	Diode Rated Voltage
Solution 1	39.00	39.00	1.000	22	Floating		EE19	TNY280PN	1N4935	200
Solution 2	39.00	39.00	1.000	22	Floating		EE19	TNY280PN	BYV26B	400
Solution 3	39.00	39.00	1.000	22	Floating		EE19	TNY280PN	UF4005	600
Solution 4	39.00	39.00	1.000	22	Floating		EE19	TNY280PN	UF4006	800
Solution 5	39.00	39.00	1.000	25	Floating		EE19	TNY280PN	1N4935	200
Solution 6	39.00	39.00	1.000	27	Floating		EE19	TNY280PN	MUR140	400

字段 打开 取消 帮助

图7 方案选择

有了开关电源，再加上恒流部分，LED驱动电源就完整了，电路图见图8，印制板图见图10，图11为做好的LED驱动电源照片，附表为元器件清单。

这里主要说明电路的恒流部分（图9）。大功率LED灯组和Ra串联组成回路，Ra为电流采样电阻，Rb电阻对VT的

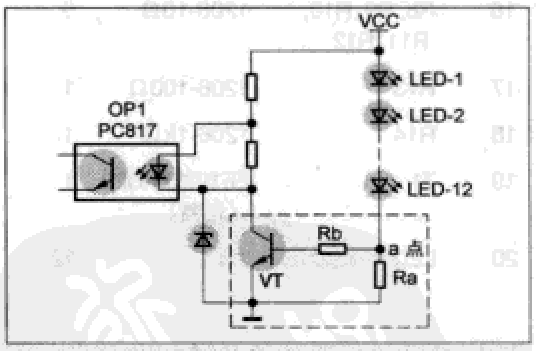


图9 开关电源恒流部分

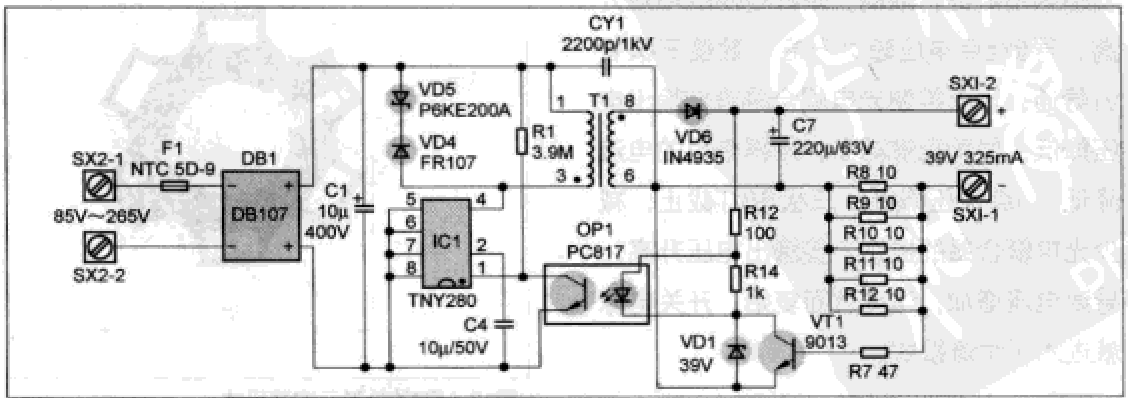


图8 LED驱动电源电路

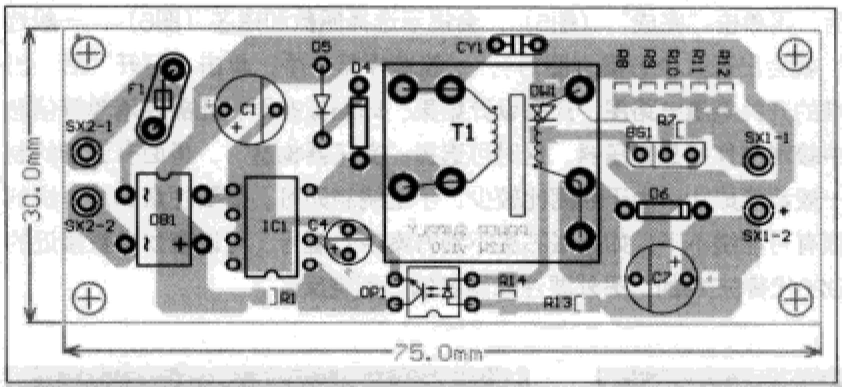


图10 LED驱动电源印制板图

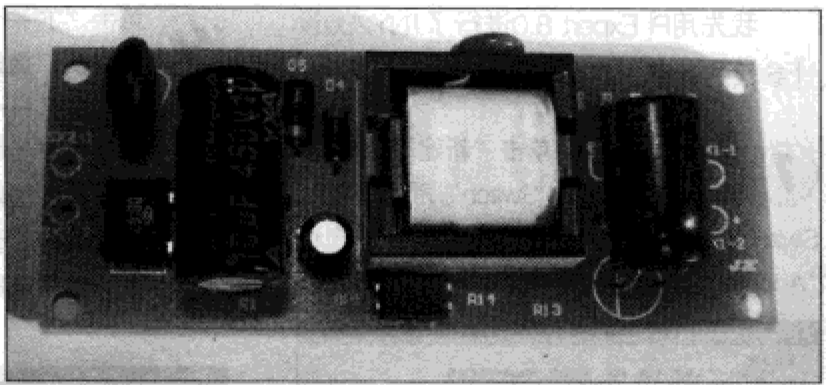


图11 做好的LED驱动电源

附表 元器件清单

序号	编号	型号	数量
1	VT1	9013	1
2	C1	10μF/400V	1
3	C4	10μF/50V	1
4	C7	220μF/63V	1
5	CY1	2200pF/1kV	1
6	VD4	FR107	1
7	VD5	P6KE200A	1
8	VD6	1N4935	1
9	DB1	DB107	1
10	VD1	39V 0.5W	1
11	F1	NTC 5D-9	1
12	IC1	TNY280	1
13	OP1	PC817	1
14	R1	1206-3.9MΩ	1
15	R7	1206-47Ω	1
16	R8, R9, R10, R11, R12	1206-10Ω	5
17	R13	1206-100Ω	1
18	R14	1206-1kΩ	1
19	T1	EE19或EFD20（自制）	1
20	LED1～LED12	1W	12

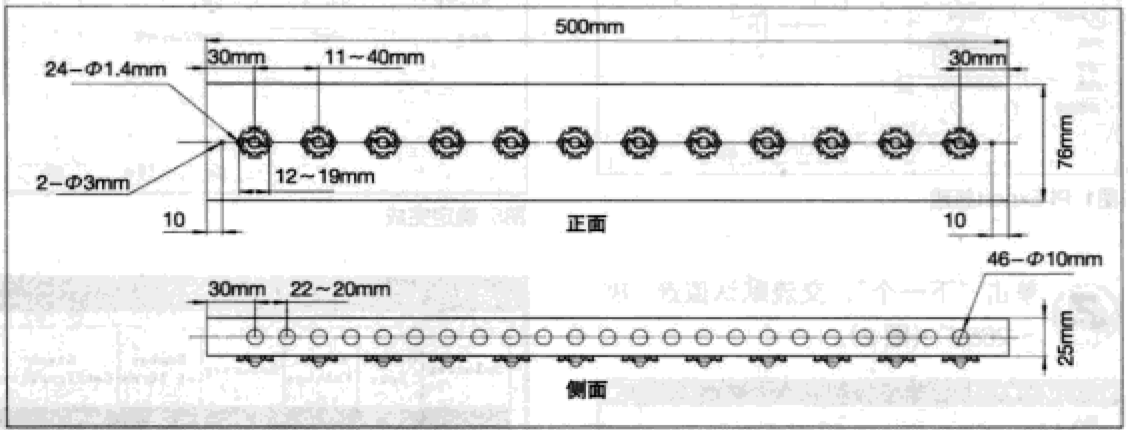


图12 散热器尺寸

发射结电流进行限制。采样电阻的电流升高，导致a点电压随之升高，致使三极管VT导通，进而控制光电耦合器迫使输出电压降低，导致电流减少。采样电阻的电流降低，a点电压降低，三极管VT截止，减少光电耦合器的控制，使输出电压升高，导致电流增加。这样周而复始，开关电源就进入了恒流模式。

散热器

散热器要足够大，才能把热量散开，保证灯具长时间可靠地工作，我用的是淘汰的铝合金门窗拆下来的矩形铝型材，尺寸为76mm×25mm，壁厚为0.8mm，全长为间距40mm×（12-1）+边距30mm×2=500mm，侧面开孔直径为8～10mm，用于帮助将热量尽快散开，具体尺寸见图12。

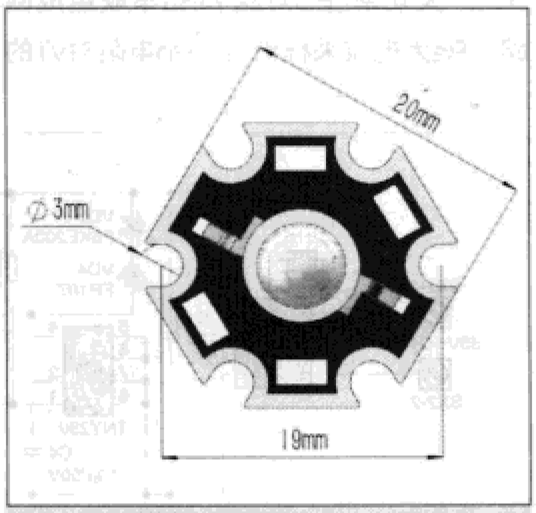


图13 LED的外形及安装尺寸

大功率LED灯的选择

1W的LED有暖白色和冷白色两种，色温分别为3400～4500K和6000～6500K。用暖白色感觉颜色偏暖，显色性不好，而用冷白色又感觉颜色有点太冷清，因此我采用4个暖白色和8个冷白色间隔排列（曾经试过用6个暖白色和6个冷白色间隔排列，感觉有点过于温暖了），感觉不错。读者可根据自己的喜好进行组合，LED的外形及安装尺寸见图13。

装配调试

将12个1W LED灯安装在散热器上，LED背面涂敷散热硅脂，用十字槽盘头自攻螺钉ST2.2-9.5（GB/T 845-85）固定，或是将24个Φ1.4mm的孔扩至Φ2mm，并用M2.5的丝锥攻丝，用24个M2.5×0.45-8（GB 818-85）的标准件固定（见图14），LED安装完毕后，将12个LED用导线按正极接负极进行串联，如图15所示，最后接上恒流驱动电源，如图16所示。

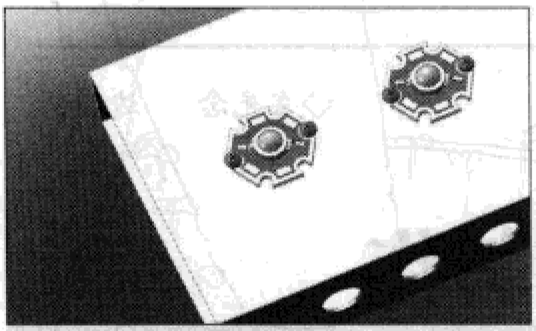


图14 LED灯安装在散热器上

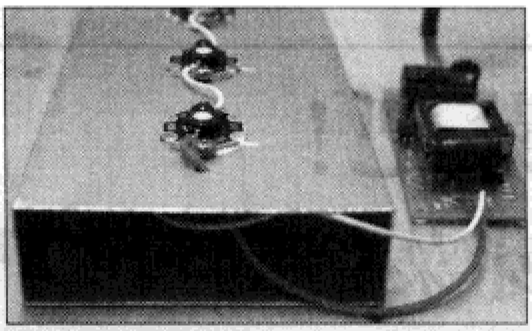


图15 接到恒流驱动电源上

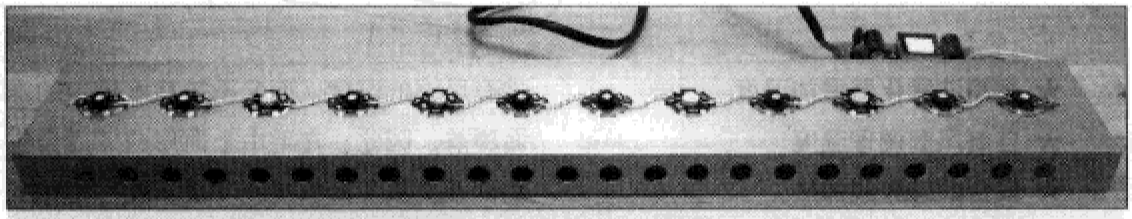


图16 LED用导线按正极接负极进行串联

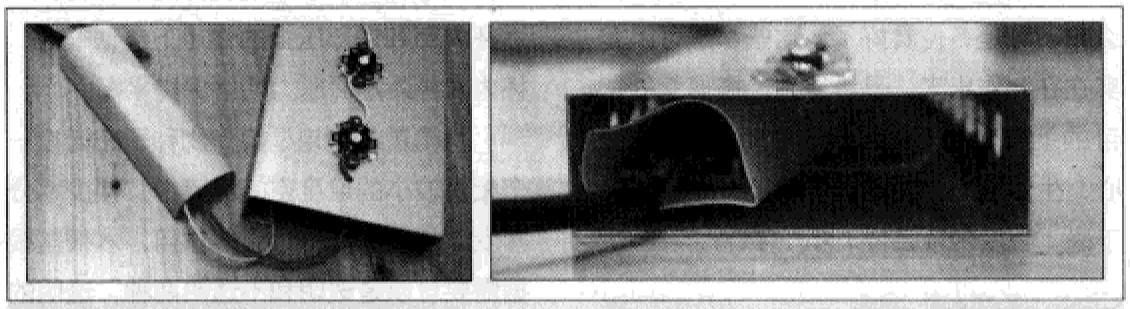


图17 给电路板套上热缩管

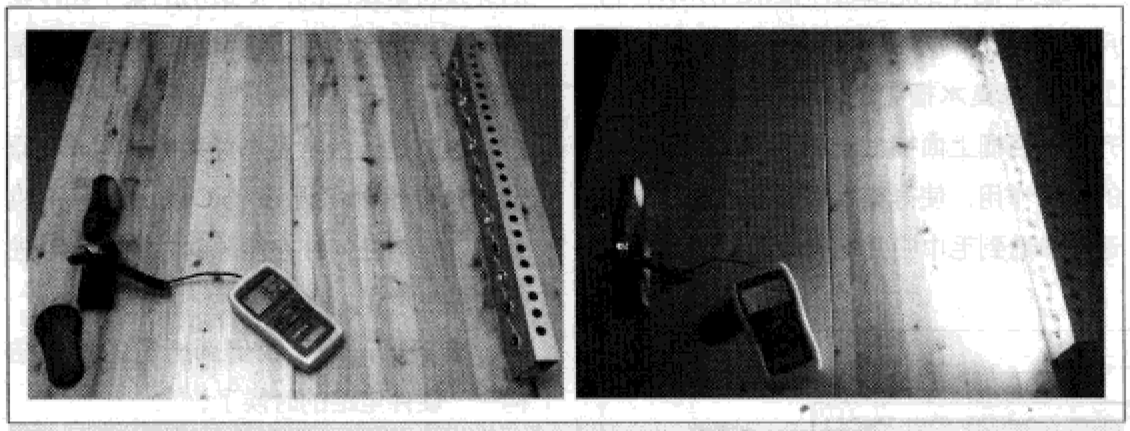


图18 LED照明灯实际照度测量

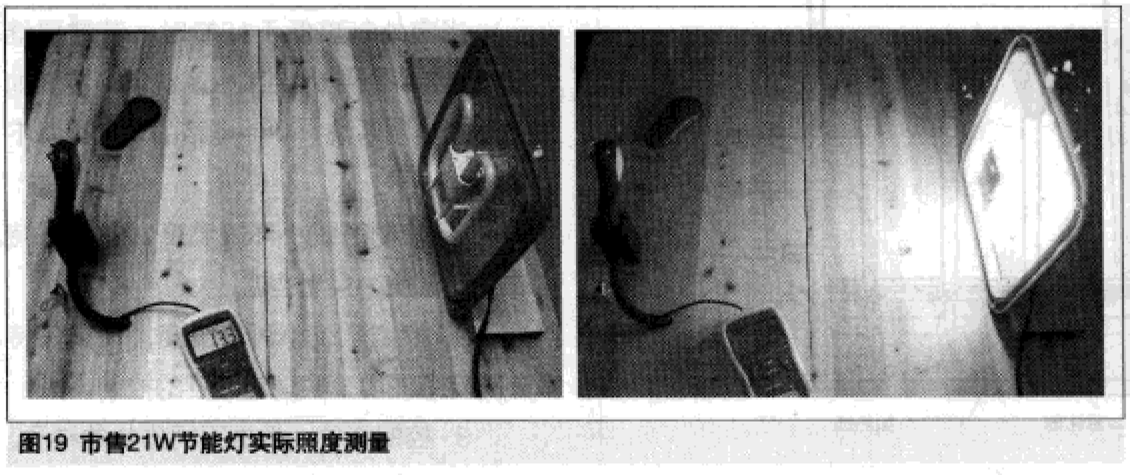


图19 市售21W节能灯实际照度测量

恒流驱动电源只要元件焊接无误，变压器绕制正确，一般通电即亮。在通电前，在LED灯组回路中串入电流表，检查无误，通电灯亮，电流表的指示不会高于325mA，因为有元器件的离散性，如果电流较低，可以在R8~R12中的任意一个电阻上并联15Ω或20Ω的电阻，使其电流达到要求即可。

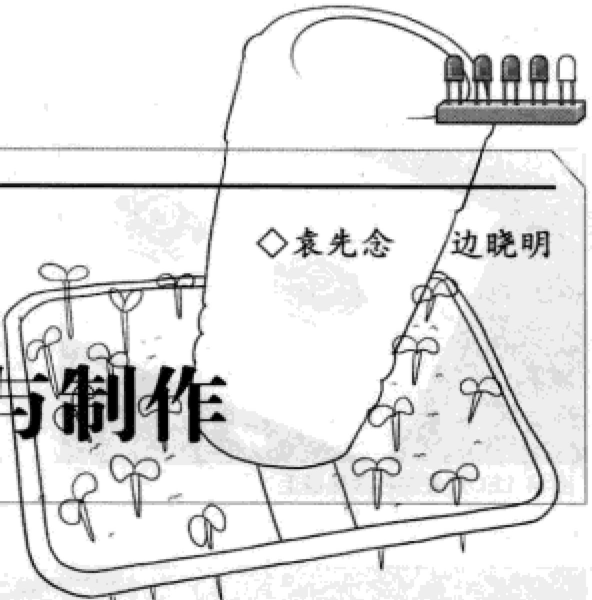
调试完毕，去除电流表，给线路板套上Φ30左右的热缩管（图17），塞在散热器的端部槽内，这样一个照明用的大功率LED灯就制作成功了。

节能比对

笔者将LED照明灯与市售21W环形节能灯进行了比较。由于LED照明灯没有灯罩，因此也将环形节能灯的灯罩去掉，以保证测量的公正。LED照明灯与节能灯分别点亮3min后，在距离各自灯具正前方的0.5m处测量，照度分别为1078Lux（Lux，勒克司，照度单位，为距离一个光强为1cd的光源在1m处接收的照明强度）和359Lux，减去实际环境照度为1061.8Lux和345.7Lux（见图18、图19），明显高于21W环形节能灯，说明LED照明完全可以满足要求。工作1小时后，测量温度大概在35℃，长时间工作也没问题。如果给LED照明灯再加上玻璃或亚克力灯罩，就是一个比较完美的家用照明灯了。

本制作涉及开关电源，给人感觉是需要一些诸如示波器、电子负载等设备以及一定的经验。其实在小功率的开关电源上，得益于科技的发展，依据配套软件计算的参数，只要元件选择得当，在业余条件下完全可以制作出稳定、可靠的开关电源。当然有上述这些设备更好了。

经实际测试，LED照明比市售节能灯有更高的效率、更好的发光亮度、更为耐用，一旦价格降到合理水平时，一定会迅速普及。



自己在家种菜吧！

家庭恒温保湿芽菜机的设计与制作

◇袁先念 边晓明

当你在做饭时，是不是为想吃简单的芽菜啊、苗菜啊等健康绿色菜而苦恼呢？看着满世界的添加剂，各种农药，各种生长素，我们有时可真的是不敢把自己当小老鼠，去尝试看着漂亮、可爱，却“内心恶毒”的各种所谓的绿色蔬菜、基因蔬菜了。也许您会上网，在人人网、开心网、QQ啥的农场里种种菜、偷偷菜，聊以自慰。可是，这也不能解决您餐桌上的烦恼呀。那么，本文介绍的家庭恒温保湿芽菜机就是为您解除烦恼而生的。闲话少说，“接下来就是兑现想法的时候”。

我们先来看看这个小玩意到底有什么能耐：

★ 小环境的温湿度实时监控

★ 工作时间、温度、湿度显示

★ 湿度：60~90RH

★ 温度：0~40˚C

★ 超声波雾化器增加湿度

★ 自制风扇调理湿度

★ 安全的硅胶线加热

★ 整机基于单片机的智能化控制

它就这点能耐了。也许你会说这没什么嘛，可是各位看好了，这些都是可以实实在在制作出来，是看得到、摸得着的。目的就一个，让各位用得开心，看着舒心，生活放心。是不是心动呢？好了，接下来，我就带领各位一步一步DIY。

芽菜机的总体设计

这个制作的总体结构如图1所示。利用蓄水杯装满水后再倒扣在格栅及支架上，使得集水槽中的水面高度与格栅平齐。在格栅上面铺上一层毛巾，毛巾对水的吸附作用，使得集水槽中的水透过孔隙逐渐渗透到毛巾中并均匀分布，使毛巾保持有足够的湿度，而又不被集水槽中的水面覆盖。因此，在毛巾上面形成了适合作物种子生长发育的湿度环境。将作物种子播撒在毛巾上面，种子吸收水分进行生长，通过种子吸收而消耗掉的水分将在蓄水杯内部和外部压强的作用下自动补给，杯内和杯外水面压力始终保持平衡。

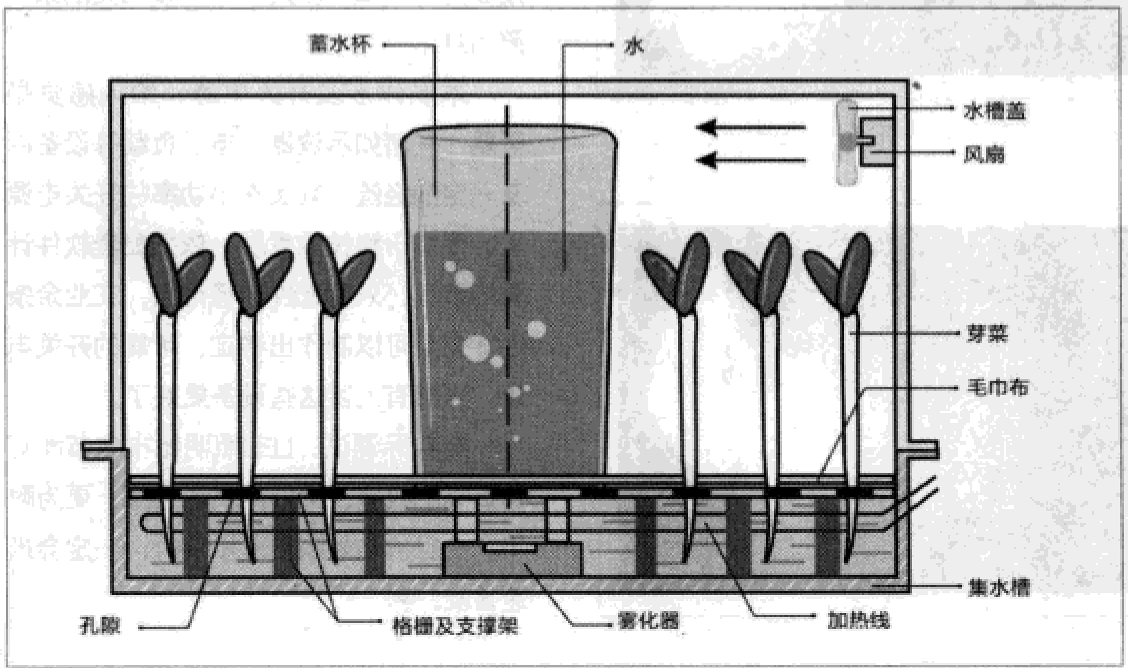


图1 恒温保湿芽菜机机构示意图

水槽盖的作用是将作物种子密闭在一个相对较小的湿度空间环境中，减少水分蒸发，起到保湿、保温的作用，水槽盖根据需要可以是透明和不透明两种，透明的可以让作物种子进行光合作用，培育出来的芽菜将是绿色的，不透明的就不让作物种子进行光合作用，培育出来的芽菜将是原色的。

这就是一台常温态芽菜机的构成及原理。只要室外气温在15℃以上，芽菜机就可以无需任何外在能源动力的情况下进行芽菜生产了。

接下来，到了我们剖析它的具体结构——硬件电路的时候了。

硬件电路设计

当室外气温低于15℃时，若需要继续培育芽菜就要对芽菜机系统小环境增加温湿度控制系统，硬件电路的设计有以下几方面要求：

1. 控制系统小环境温度，使其保持在一定温度，实现恒温；

2. 控制系统小环境湿度，使其保持在一定范围内，实现对湿度的控制；

3. 控制挡位，根据不同作物的种子、芽菜的培育温湿度环境需求，经过人工手

动挡位控制，让被控制的温度加热器和湿度雾化器在一定时间内自动定时工作。

4. LCD显示，可视化是现在嵌入式必备的“武器”，本系统采用1602作为显示屏，主要用来显示其工作时间、采集的温度湿度。

1602字符型LCD通常有14条引脚线或16条引脚线，多出来的2条线是背光电源线。1602液晶模块内部的字符发生存储器（CGROM）已经存储了160个不同的点阵字符图形，这些字符有：阿拉伯数字、英文字母的大小写、常用的符号和日文假名等，每一个字符都有一个固定的代码，比如大写的英文字母“A”的代码是01000001B（41H），显示时模块把地址41H中的点阵字符图形显示出来，我们就能看到字母“A”。因为1602识别的是ASCII码，用ASCII码直接赋值，在单片机编程中可以用字符型常量赋值，如“A”。这个系统上的LCD显示如图2所示。

数字式温湿度传感器

一切信息来源，都必须有它的渠道。正如朱熹大师说：“问渠那得清如许，为有源头活水来。”现在的各种数字化信息的采集，都必须借助传感器。它的作用就是把需要的某种信息以您能够读懂的方式显示出来。温湿度方面的传感器很多，技术也很成熟。我们选择了DHT11这款性价比较高的传感器来实现对温度、湿度的信号采集。

DHT11数字温湿度传感器是一款含有已校准数字信号输出的温湿度复合传感器。超小的体积、极低的功耗，信号传输距离可达20m以上，这些优点使其成为各类应用甚至最为苛刻的应用场合的极佳选择。该产品为 4 针单排引脚封装。

温度控制

温度的控制很重要，经过考虑和实际的应用，通过加热提升水温是保持系统温度的好方法。提高水温的方法很多，可直接用通过市场上卖的“热得快”用市电加热，它能在很短的时间内升高温度，但水的温度范围容易超出芽菜生长培育的极限温度40℃，而且220V交流电属于高压，不太安全，不适合本系统的供电。

基于安全角度考虑，我们最终选择的电源为32V的交流电，32V的交流电来自于220V市电的AC-AC转换。根据加热材料的具体实验，我们最终选用了技术成熟的地热加热线。加热材料选用普通蔬菜温室大棚用的硅胶地热线，电压220V，功率1kW，长度100m，从中截取1m作为系统小环境的加热线。

芽菜机系统小环境内部要求是恒温的，那么怎样才能实现对温度的控制呢？各位也许会想，可以用温度传感器加CPU搞定，但是，我们还得考虑系统的优化和制作的简易性呀。所以，我选用了操作方便、简单实用的刻度式温度控制开关。这样，就可以实现系统小环境的温度调节了，温控开关如图3所示。这种温控器有3个接线铜片，分别为 1、2、P 三个。当P和1串接在电源电路上时，温度升高，达到所需控制温度时，会自动切断电源（用电器停止工作），当温度降低时，会自动接通电源（用电器开始工作），当P和2串接在电源电路上时，温度升高时会自动接通电源（用电器开始工作），当温度降低到所需控制温度时，会自动切断电源（用电器停止工作）。

湿度及循环风控制

1. 系统平台

| 方案一 | 本系统要实现温度、湿度、空气流通性的控制，用纯硬件来实现，可以达到要求，但是电路复杂，而且操作不方便。

| 方案二 | 采用单片机来控制本系统，实现了智能化。

最终采用方案二来实现对本系统的控制，加强了系统的可升级性和人性化操作界面。

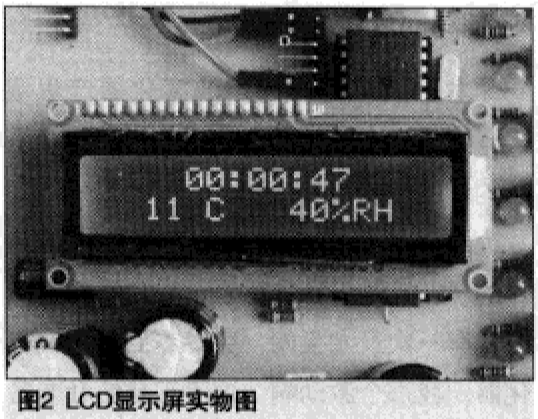


图2 LCD显示屏实物图

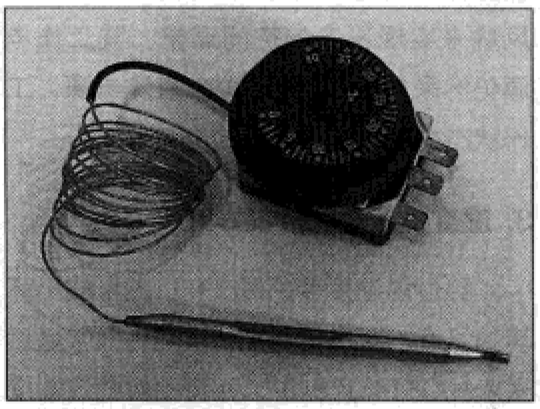


图3 刻度式温度控制开关

温控开关性能参数
温控范围：0～40°C
触点容量：220V AC 16A（阻性）
探头尾线长：1.5m
动作温度：3～4°C

图4 超声波雾化器雾化头(参数：AC 24V 1200mA；工作频率：1700±50（kHz）；换能片直径：φ20mm)

超声波雾化器工作原理：来自主电路板的振荡信号被大功率三极管进行能量放大，传递给超声波晶片，超声波晶片把电能转化为超声波能量，超声波能量在常温下能把水溶液雾化成直径1～5μm的微小雾粒，利用超声定向压强将水喷成雾状，借助内部风机风力把水雾送出。

2. 加湿部分

本系统采用了超声波雾化器产生湿雾，然后用电机带动自制风扇，使整个系统的湿度均匀。

湿度怎么控制呢？也许是让你最头疼的了。开始设计的时候，我也不知怎么办。有一次逛淘宝网，突然看到超声波雾化器，我那个激动啊，这不正是给我准备的吗？权衡利弊后，我选用了无灯的超声波雾化器（图4），然后再自制了一个小风扇来实现湿度的空间调整。其工作电源仍然采用产品配备的24V直流电源，工作状态由系统的单片机控制。

3. 湿度及循环风控制方案

经过温湿度传感器DHT11把系统小环境的温度、湿度值直接转换成为数字量后送入89C51单片机中，并将相应的温湿度值显示在LCD1602液晶屏上。输入数据经单片机按预定的算法进行数据处理，与设定的湿度控制目标（最低湿度60RH）进行偏差运算，最后经I/O口输出实时控制信号。当系统小环境湿度小于设置的初始值时，单片机将通过控制输出接口使加湿设备（即雾化器）启动一次，工作时间30s，之后，单片机再次检测系统小环境湿度，若湿度仍然小于60RH，将再次启动雾化器工作30s，直到系统小环境内的湿度不再小于60RH时，单片机将通过控制输出接口使雾化器停止工作。

根据不同作物种子培育发芽过程中对温、湿度环境的不同需求，采用超声波雾化器产生湿雾，在保持系统小环境湿度大于60RH的前提下，我们设置了4个定时加湿的人工控制手动挡位，实现强制增加湿度的目的。4个挡位分别为：30min、60min、180min和300min。雾化器每次启动工作时间30s。

而循环风通过自制风扇的挡位来控制。自制风扇产生循环风，调理温度、湿度均匀分布。同样设置4个强制自动定时循环风人工控制手动挡位，实现对小环境内部温度、湿度的有效调节。4个挡位分别为：一直保持开通、60min、180min和300min。

电源转化、单片机控制及温湿度及循环风工作挡位控制电路原理如图5、图

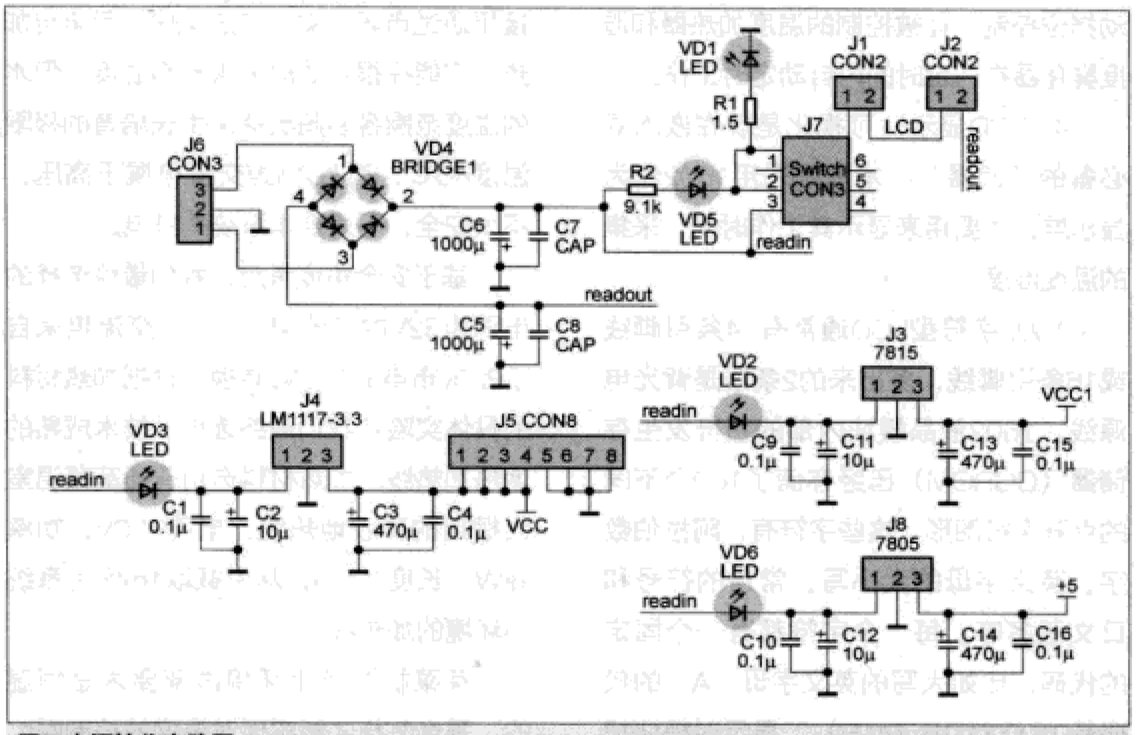


图5 电源转化电路图

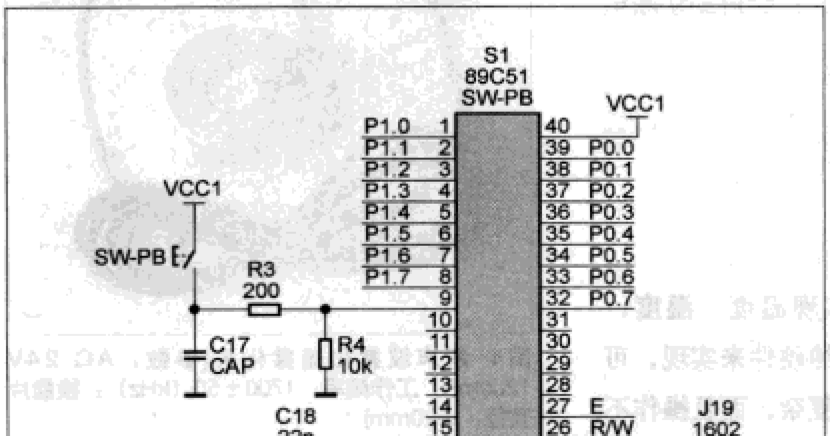


图6 单片机控制部分电路图

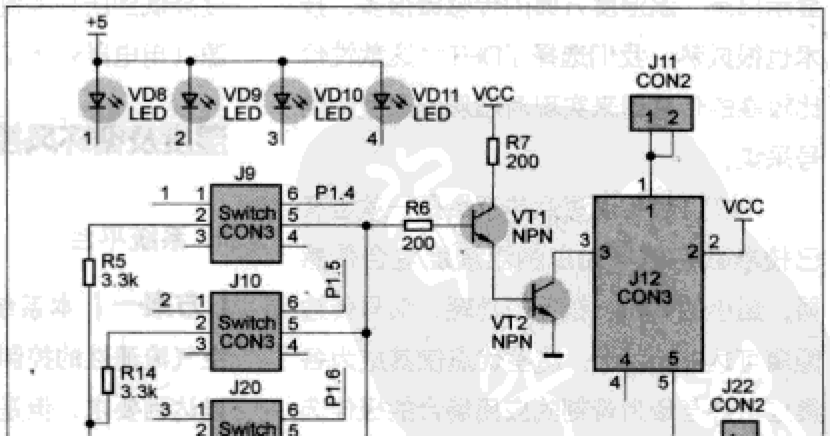


图7 温湿度及循环风工作挡位控制电路图

6和图7所示。图5中的输入为220V市电，输出为经全波整流后的约为32V的低压交流电，图中各端口标记是引出给相应的稳压器，然后再给各部分供电。图6中，I/O口的分配是：工作挡位控制是P1口，1602是P0口和P2的4、5、6口，DHT11用P2的3口。图7中的工作挡位控制标号与单片机的P1口相连，雾化器和循环风挡位控制的硬件电路相同，其主要部件是继电器，加热、雾化器和循环风控制都是通过继电器来实现的。

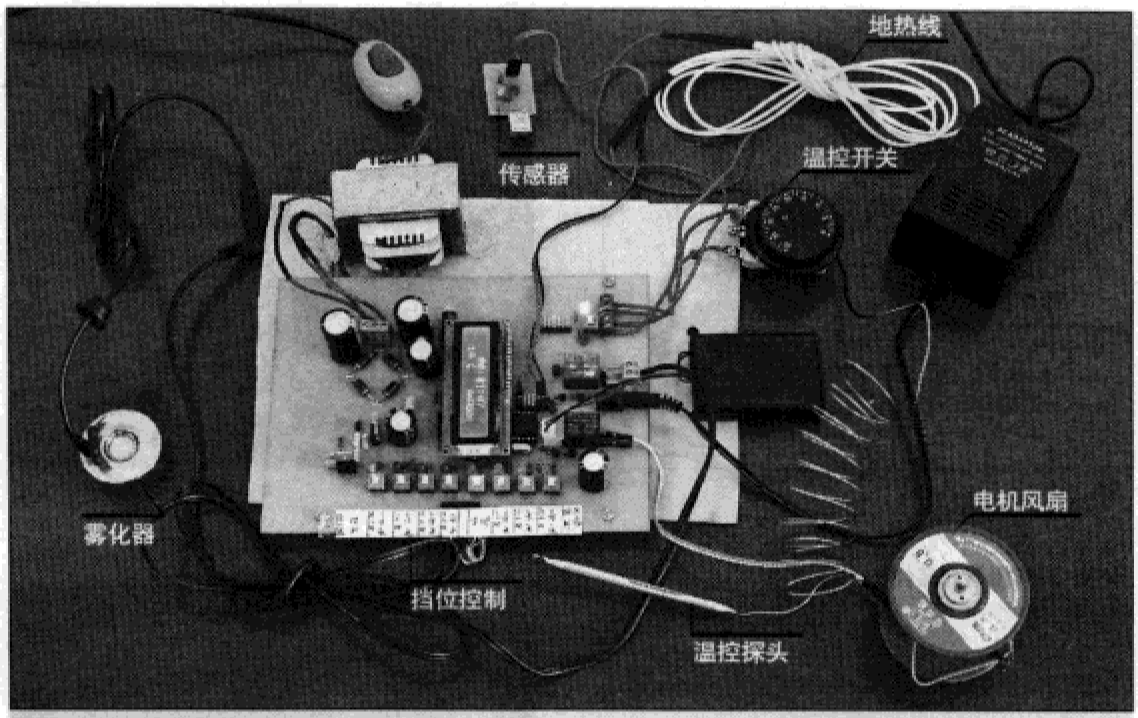


图8 硬件电路实物图

制作要点

硅胶地热线在使用时，应注意电流与地热线横截面积成正比的关系，地热线横截面积越大，允许通过的电流越大。同时，电流和地热线电阻率有关，电阻率越大，允许通过的电流越小。因此，在选择硅胶地热线时要考虑到地热线的材质。我们可以通过下面的公式进行具体计算，以便选择合适的硅胶地热线。

$$I=(V\times S)/(\rho\times L)$$

式中，I为允许通过的电流，V为电压，S为地热线横截面积，ρ为地热线电阻率，L为地热线的长度。

由上式可知，在使用地热线加热过程中，不宜使用单根的地热线加热，最好将同等长度的地热线裁剪成为4段，并联起来使用，以防止因电流太大引起过热，造成意外。

我们将刻度式温度控制开关的金属探头埋入集水槽的水中，金属探头与加热线保持适当距离，避免加热线对金属探头感温精度造成干扰，以求金属探头能够探测到相对准确的水温。

依据系统小环境对温度的不同需求，通过温控开关调节刻度的不同挡位调节水温，实际挡位可能会与水温及系统小环境的环境温度存在偏差，以系统小环境内部实际测量温度为准，可以调整挡位，修正偏差。

温湿度传感器在系统小环境中的安放部位对于湿度控制起着十分重要的作用。具体安装部位应是芽菜种子上方2cm处。

整个硬件电路实物图如图8所示。

关于选材

这个系统所需的蓄水杯、水槽盖、集水槽、格栅等材料采用的都是我们平时常见的普通材料。蓄水杯如图10所示，这不是一个普通的水杯吗？只是在选择这个水杯时，我们应挑选水容积比较大的，能够满足集水槽和种子生长8～10天所需的用水量。

水槽盖和集水槽其实就是一个普通家用储米箱（见图11）。我们将储米箱的盖子放在下面，而将箱体倒扣在上面。储米箱的盖子一定要选择内部平坦、盖沿尺寸高的，以方便将加热线、雾化器和金属探头埋在水中。雾化器在水中要注意与水面保持1～1.5cm的距离，距离大了会影响雾化效果，距离小了会发热，损坏雾化器。

有人会问：我家里已经有了储米箱，就是盖子浅了点怎么办？这也不难，按照图12安放，再盖上盖子，问题就解决了，原理都是一样的。我们尽量不在容器上面打孔什么的，一些器件的安放和固定都是采用支架和粘贴的办法。

系统中所用的格栅如图13所示，就是一般家用的塑料垫，比如放在桌子上面垫碗的，放在浴室地面防滑的。

当然，上述塑料材应料尽量选择食品级的安全塑料制品。

本制作所需的材料如附表所示。

芽菜种子的选择应注意选择适宜这个自制芽菜机温度生长的品种，48h（小时）内发芽率应达到80%以上。常见绿豆芽的培育温度为21~32℃，湿度≥60RH，生产周期为3~5天，萝卜芽的培育温度15~20℃，湿度≥60RH，生产周期8~10天，豌豆芽的培育温度18~23℃，湿度≥60RH，生产周期5~8天。

图9所示为培育温度30℃、湿度≥60RH、避光、生产周期3天的绿豆芽菜。

经过我们的实际使用，用这个机器做绿豆芽，因绿豆芽喜温、喜湿，生产周期短，效果非常好，做萝卜芽口感也不错，就是生产周期长，需要耐心等待，豌豆芽口感也不错，生产周期也长，只是豌豆芽根部的豆瓣不好处理，农村用来喂牲口，我们通常将其打碎过滤后，做成豌豆浆，效果也不错。做黄豆芽要十分小心，因为现在市面上卖的许多黄豆都被处理过，虽然耐存放，但已经没有多少活性，一

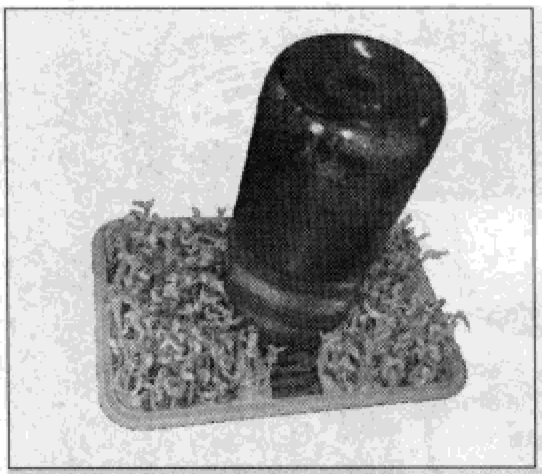


图9 芽菜产品实物图

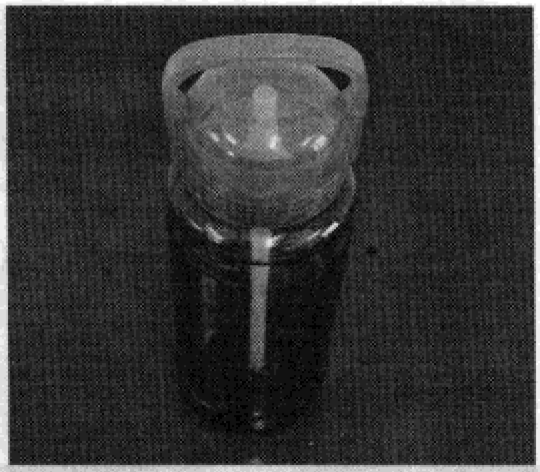


图10 普通水杯

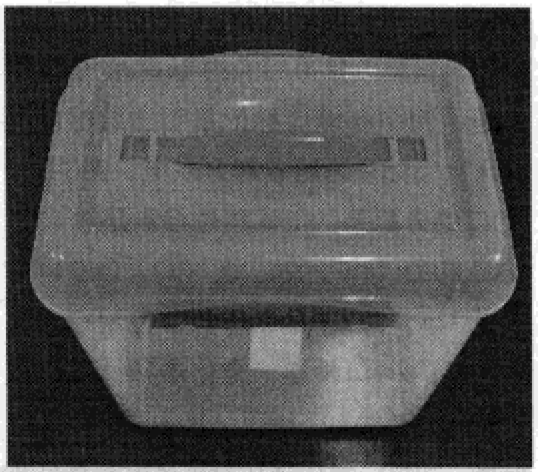


图11 普通家用储米箱

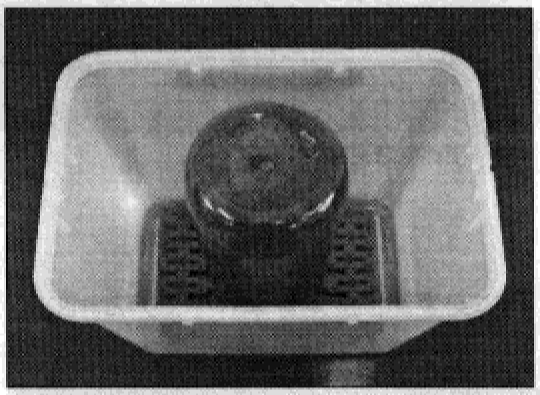


图12 另一种安放办法

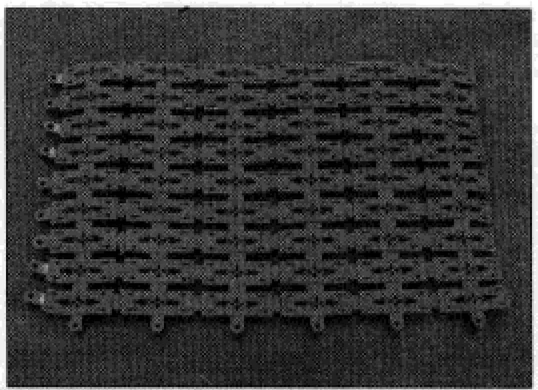


图13 格栅

附表 制作所需元器件

类别	名目	数量
电阻	200	16
	330	2
	1.5kΩ	2
	3.3kΩ	8
	5kΩ	1
	9.1kΩ	1
	10kΩ	1
排阻	4.7kΩ	1
电容	22pF	2
	0.1μF	8
	10μF	43
	470μF	3
	1000μF	2
发光二极管	红色	9
	蓝色	4
	黄色	1
三极管	9013	4
继电器	5V/1A	2
整流二极管	FL103	4
晶体振荡器	8MHz	1
单排针	40P	4
电源接插件	3P	2
	2P	4
三端稳压器	7815	1
	7915	1
	7805	1
自恢复按键	4P	1
自锁开关	6P	8
温控开关	0~40℃	1
控制器	AT89C51	1
LCD	1602	1
传感器	DHT11	1
直流电机	5V/1A	1
自制风扇	3叶	1
地热硅胶线		1m
超声波雾化器	AC 24V 1200mA	1
覆铜板	150mm×200mm	1
电源线	2A	若干
杜邦线	20cm	若干

般发芽率不到5%，不能满足生产豆芽的要求。

这个机器的自制成功率高，几乎可以做成定型产品，我们也申请了新型实用专利，目前已经受理，即将拿证。原本我们的制作目的是让学生通过了解一个实际产品从需求分析到设计开发到生产试用的全过程，从中学习和掌握单片机及一般电路的运用和开发技能。但是，自从做成了这台芽菜机，家里的不少芽菜都是自己做的了，相当实用。

其实，如果当真作为成熟产品来开发，我们认为只需要再配上更精准的温度控制功能就足够了。水杯与格栅连接处再做一个接口，这样，当水杯倒扣时可以避免水的溢出。格栅的面积也可以根据客户对芽菜一次性产量的需求适当调整。

功能拓展

⊙恒温35℃，湿度≥60RH，将掺和酵母的面粉和好后，放人进行40min的醒面。

⊙恒温30℃，湿度≥60RH，24~36小时，做米酒。

⊙恒温40℃，湿度≥60RH，8~10小时，做酸奶，将新鲜牛奶倒入杯中，按照10:1比例加入酸奶即可。

⊙一般作物育种箱。

萝卜有它的脆爽，红薯有它的蜜甜，苹果有它的浓郁，鸭梨有它的甘沁……各自的个性，决定了它们存在的理由。这个小玩意有什么存在的理由呢？归纳起来，8个字——简便实用，绿色生活。

看完这个，hold不住了吧。嘿嘿，赶紧去电子市场买些电阻和电容啥的，焊好电路，亲自体验一下电子设计师变身农业养殖专家的乐趣吧。

■ 本制作所需源程序可以到本刊网站www.radio.com.cn上下载。

2.4GHz数字无线话筒

◇戚彦男

《爱情公寓》里有句台词是：“跟我赌，不是看你要什么，而是看我有什么！”我最近做项目，手头剩下几片ATmega16L单片机和一对NRF24L01+无线模块，闲来无事，于是做了个数字无线话筒玩玩儿，没想到效果还不错。

如今，越来越多的2.4GHz无线产品进入了我们的生活，如蓝牙、无线上网和无线键鼠等，这些产品极大地方便了我们的生活。接下来我所制作的就是一款简单的2.4GHz数字无线话筒。

2.4GHz无线技术采用的频段处于2.405～2.485GHz（科学、医药、农业），这个频段里是国际规定的免费频段，这为2.4GHz无线技术的可发展性提供了必要的有利条件。2.4GHz无线技术的工作方式是采用全双工模式传输，这个优势决定了它的超强抗干扰性。此外，相比采用蓝牙等其他无线传输技术的产品，采用2.4GHz无线技术的产品，制造成本更低，提供的数据传输速率更高，它的抗干扰性、最大传输距离以及功耗更远远超出采用同样免费的27MHz无线技术。

设计思路

这个设计的思路非常简单，首先将驻极体话筒采集到的声音模拟信号转换成便于存储和处理的数字信号，即AD转换，然后通过2.4GHz的无线模块发送到接收端，接收端收到数据后，再利用PWM将数字信号还原成声音信号。

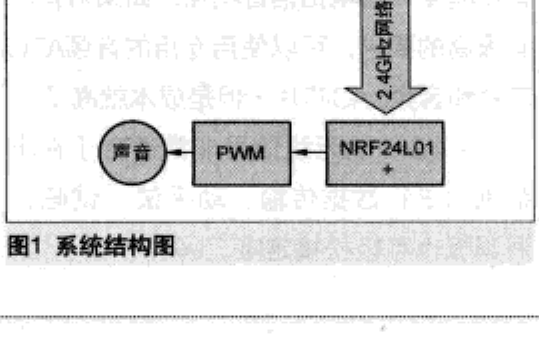


图1 系统结构图

由于话筒传输的是实时的语音信号，而声音的数字化和还原都会有延迟。因此，这个设计的关键是怎么做才能保证语音信号实时传输。

器件选择

这款无线话筒结构简单，用到的主要元件有nRF24L01+无线模块、AVR单片机、晶体振荡器和驻极体话筒，当然，还得有几只电阻电容。

至于nRF24L01+无线模块，现在很容易买到，也不贵。通常，这类模块官方给出的传输速度有3种，分别是1Mbit/s、2Mbit/s和250kbit/s，可通过软件选择。然而这只是一次传输32字节的速度，应用中由于每次发送需要等待器件进入发送状态，内部PLL电路工作稳定，每发送一次大约需要700μs（自动应答2Mbit/s时），所以实际能达到的最大速度大概是40～60kbit/s。

根据ATMEL官方文档，ATmega16L的AD在10位分辨率时能达到的最大采样率大约为15kHz。而我们在这个设计中给它来点“超频”，设置它的AD时钟频率为1MHz，8位分辨率，这样可以稍稍提高AD转换速度，达到8位16kHz采样的目的。32字节可以存储2ms的声音信息：1s/16kHz=62.5μs，62.5μs×32=2ms，不要担心，这只是个不太讨厌的计算题。根据计算可以知道，发送一次数据需要大约700μs，而接收一次数据存储了2ms的声音数据，因此完全可以在播放这2ms声音时进行下次的发送—接收。这就达到了实时传输语音信号的目的。系统流程图见图1。

当然，并不是一定要用ATmega16L单片机，也可以用ATmega8单片机。其实只要带有AD转换且速度够快的单片机都能使用哦。

电路原理图简介

前面已经说过这是个简单的设计，简单体现在电路上。

1. 发送端电路

发送端电路有数据传输、数据处理和声音采集3个部分。数据传输部分用单片机的硬件SPI接口与NRF24L01+无线模块连接，提高传输速率，简化程序设计，如果是没有SPI接口的单片机可以用I/O模拟SPI，这里不再说明。声音采集部分就是用驻极体话筒将声音信号转换成连续变化的电压信号，然后通过单片机自带AD转换部分转换成数字信号。从原理图（见图2）可以看出，驻极体话筒的电路之外接了一个电阻，那这个电阻的阻值（R）是怎么确定的呢？这个设计中ATMEGA16L单片机AD的参考电压选择AV_{CC}引脚电压，而$AV_{CC}=V_{CC}$，所以AD输入电压（Vin）范围应该在0～V_{CC}之间。驻极体的工作电流（I）为0.1~1mA，$V_{in}=V_{CC}-I\times R$，如果取V_{CC}=4.2V，则可以确定R取值应在4.2~42kΩ，这里取R为10kΩ，保证信号不失真。数据处理部分就是单片机

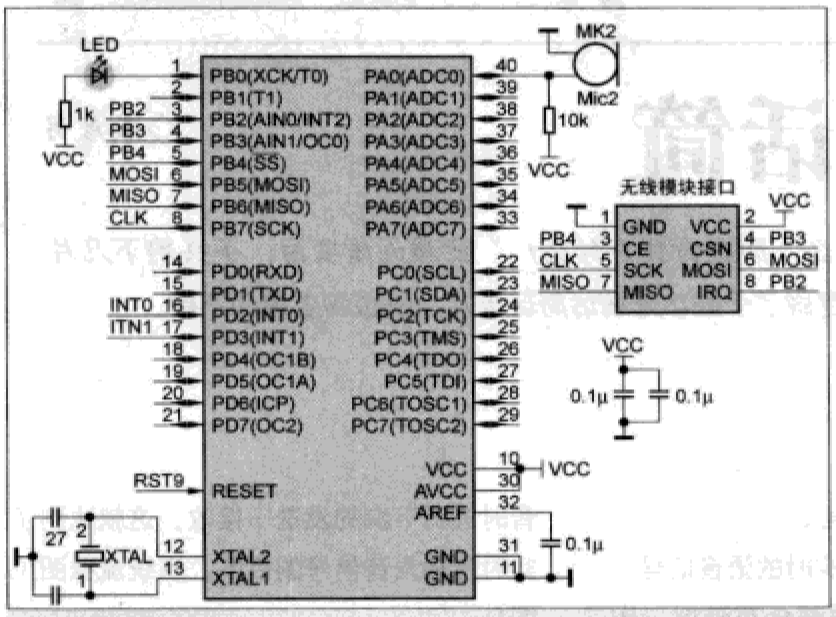


图2 发送端原理图

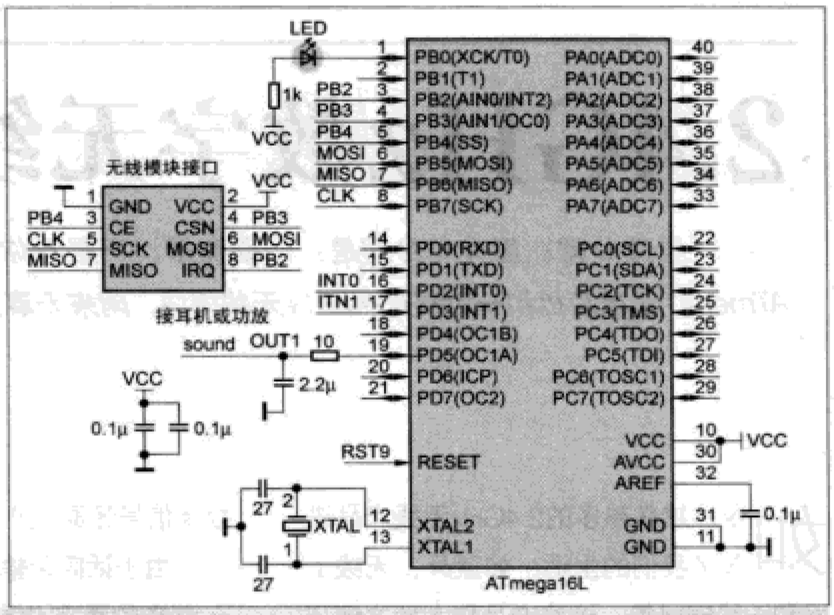


图3 接收端原理图

了，单片机控制AD的采样率，存储数字信号，并且控制无线模块发送数据。

2. 接收端电路

接收端电路用到的数据传输部分与发送端完全相同。只是在单片机PWM输出引脚接了个低通滤波器，滤去高频噪声，还原语音信号。整个设计从简单出发，因此低通滤波器只用一个电阻（10Ω）和一个电容组成（2.2μF），截止频率大约为7kHz，具体原理图见图3。如果想要更好的效果，可以用5532接一个带通滤波器，效果会更好。

3. 电源

发送端用一块电压为4.2V的锂电池供电，方便手持使用。接收端由于要和耳机或功放连接，采用稳压电源供电，电压为3.3～5V。需要特别说明的是NRF24L01+对电源特别敏感，电源质量差可能会导致接收变差，甚至收不到数据，因此应注意电源滤波，最好在NRF24L01+电源附近接一个104电容。

程序编写

电路简单不代表程序就简单，程序是这个数字无线话筒的灵魂。按原理图接好电路，接下来要面对的就是编程问题了。程序同样也分为发送端和接收端。

1. 发送端程序

发送端所做的工作是AD转换、数据暂存和数据发送。发送端程序设计的关键是准确地控制AD采样率为16kHz，还能及时将数据发送出去。为此发送端ATMEGA16L单片机的AD工作在自动触发模式，以定时器0为触发源，并且以中断方式读取转换结果，从而准确地控制采样率。

2. 接收端程序

接收端程序完成的工作是接收到数据后将数字信号转换成占空比不同的连续脉冲。程序设计的关键是保证PWM工作频率与发送端采样率相同，这样才能准确地还原声音信号。ATmega16L单片机带有硬件PWM，大大简化了程序设计。需要特别注意的是，如果没有收到数据，要关闭PWM输出，否则会有非常大的噪声。

程序流程可到本刊网站下载。

实际使用效果

原以为单片机自带AD16kHz采样8位分辨率，PWM变换，还有简陋的滤波器和驻极体话筒，这样的话筒音质一定“惨不忍听”，制作完成后小心试用，没想到得到是惊喜：基本无噪声，清晰地还原了说话的声音，接上功放，音质更好。在使用PCB天线时，室内测试有效距离为6m。2.4GHz数字无线话筒使用的就是最简单的AD转换，没有使用声音的采样量化编码技术，音质勉强，比FM无线话筒音质稍差，比电话语音稍强。如果对音质有很高的要求，可以使用专用的音频ADC芯片和音频DAC芯片，但是成本就高了。

2.4GHz的无线信号非常适合于在小范围内进行数据传输。动手试一试吧，洞洞板也可轻松搞定哦。

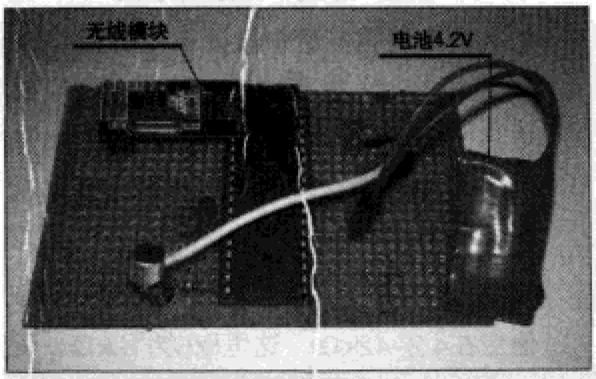


图4 初步完成后的发射电路实物

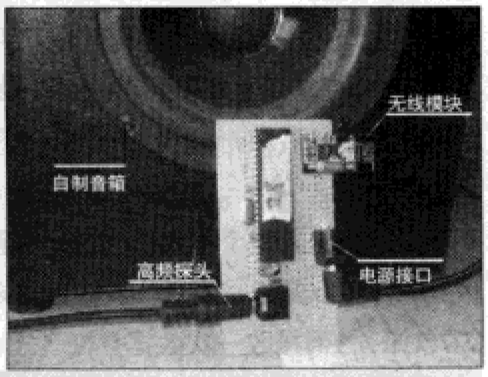


图5 接收电路与自制的功放音箱连接

矿石收音机 WWW.CRYSTALRADIO.CN 论坛第三届DIY大赛圆满结束

◇草音

由矿石收音机论坛举办的第三届DIY大赛于近日成功落下了帷幕。大赛的举办得到了广大DIY爱好者的积极支持与热情参与。

自2009年开始，矿石收音机论坛举办的DIY大赛已经日趋成熟，大赛本着鼓励原创、倡导创新、重在参与、互助交流、友谊第一、比赛第二等原则，至今已成功举办了三届。本届大赛在鼓励原创方面做出了更积极的努力。大赛的评选本着公平、公正、公开的原则，先由网友投票进行初评，根据投票结果，截取前50名进入评委复评，复评是由筹委指定的版主组成，复评结果即为最终获奖名次。大赛奖品由爱好者、德生公司、《无线电》杂志社等捐赠。

本次大赛共收到有效参赛作品163件，参赛作品的数量和质量反映出爱好者们的设计能力和制作水平的不段攀升。下面列举几个亮点作品与大家分享。

一 由网友xjw01提交的“适合业余爱好者制作的LCR表”（见图1）

作品概述：矿石收音机的大部分元件需要DIY，所以需要知道元件的参数，如谐振器件、检波器件、天线、耳机、变压器等器件的电抗特性。其中，高频参数可以使用Q表解决问题，而对于低频参数，Q表则难以测定，LCR数字电桥就能够胜任。因此设计的主要目标是：1.能够准确测量电抗器的L、C、R，精度优于0.5%。 2.取材容易，电路简洁，易于制作，成本应适当控制，使之具有更强的业余DIY价值及研究价值，并通过设计、DIY学习到LCR电桥的相关细节、原理。

此作品被网友skyrusher赞为：“业余作品里的专业水准！”网友qg2007评价：“是综合知识和技能的体现！”

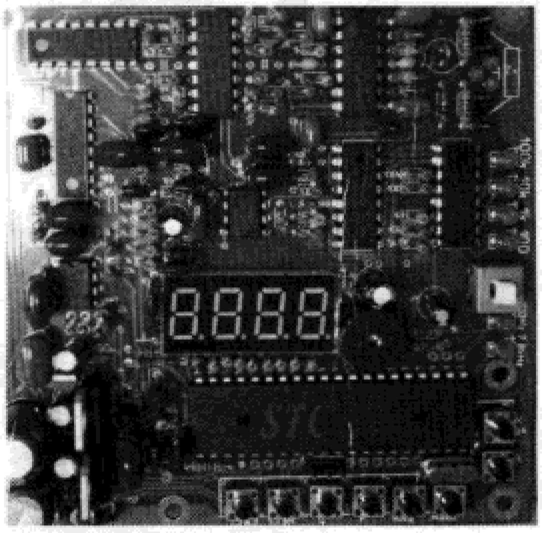


图1 适合业余爱好者制作的LCR表

二 由网友L.D.XIONG提交的“太阳能3DQ再生机”（见图2）

作品概述：由于3DQ双栅MOSFET（3SK143）可以在很低电压（约0.4V）和很小电流（约50μA）下工作，故可使用一块4V/60mA的太阳能电池板制成一部再生机，在阳光、灯光下便可收听。本机调节再生适当时电流为0.089mA，再生过强时电流为4.2mA，由于太阳能电池板输出余量大，故加两个假猫眼进行装饰。

作品创造性地将现在主流的绿色环保能源——太阳能应用到再生机中。网友“电罗经”说：“做一台不用天地线的实用矿石收音机是我的梦想，尽管这台按我的理解不是完全意义上的矿石收音机，但它并不需要商品能源，能量取自自然，应该倍加推崇！”

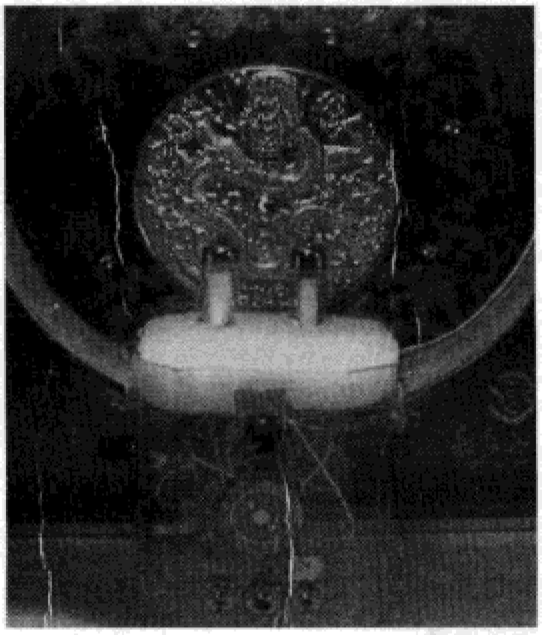


图2 太阳能3DQ再生机

三 由网友bd2qbw提交的“超低成本的数控雕刻机”（见图3）

作品概述：一提到数控机床，大家就会联想到它那高昂的造价、复杂的编程操作。其实通过自己DIY可以制作一些简单、低成本的数控小装置，如数控雕刻机、数控电热泡沫线切割机等。DIY数控装置的难点在于装置的成本和机加工的工艺，软件的简单设置和使用并不太难，更不需要单片机编程。该机软件用的是国产的“文泰”，它使用方便，绘图、生成加工刀路，都能完成。

这是机电一体化的产物，作者将业余条件下的看似不可能变为可能，虽然达不到专业级的水平，却是个人综合能力的一个极大体现。

图3 DIY超低成本的数控雕刻机

本次大赛作品无论从数量上还是质量上都较往届比赛都有了很大的提升，作品所用材料涵盖了晶体管、电子管、集成电路等，应用上除了传统的矿石收音机、电子管和晶体管收音机，还出现了仪表、工具的制作，以及生活中实用用品的制作。我们期待DIY高手们今后能够给我们带来更多、更好的作品。

核辐射探测仪DIY详解

◇陈建皓

2011年，日本3·11地震引发的核泄漏，大家应该还记忆犹新。如果说核泄漏离我们还算遥远，那么日常生活中的家居装修所隐含的辐射风险就与我们的生活息息相关了，要知道，卫生洁具和建筑材料中都含有各种的放射性物质。作为电子爱好者的我们，能否自己DIY一个廉价的核辐射探测仪呢？Arduino——这个简单易用、让人眼前一亮的开源平台，也将在本次DIY之旅中粉墨登场。现在，就让我们一起走进探测核辐射的世界吧。

放射现象及其探测技术

核辐射，或通常说的放射性，存在于所有的物质之中。核辐射是原子核从一种结构或一种能量状态转变为另一种结构或另一种能量状态过程中所释放出来的微观粒子流，核辐射也称为电离辐射。

高中物理的知识告诉我们，将放射性物质放入电场中，会发生偏转，明显地区分为3束（见图1）：

■ α射线，氦核。本身体积大，穿透能力弱，用一张纸或人体皮肤本身就可以阻挡，但电离本领强，吸入或注入人体内将直接破坏细胞，危害大。

■ β射线，电子流。较α射线来说，穿透能力强。β粒子能被体外衣服消减、阻挡或被一张几毫米厚的铝箔完全阻挡。因电子流影响距离较近，只要不进入人体，影响不会太大。β粒子根据其能量不同，还细分为高能β粒子（hardβ，硬β）和低能β粒子（softβ，软β）。

■ γ射线，γ粒子流。原子核能级跃迁蜕变时释放出的射线，是波长短于0.2埃（10^{-10}m）的电磁波。γ射线有很强的穿透力，对细胞有杀伤力，医疗上用来治疗肿瘤。

放射性探测技术的发展已有超过百年的历史，种类繁多，原理也各不相同。其中用于测量放射性常用的探测器主要包括以下3种类型：

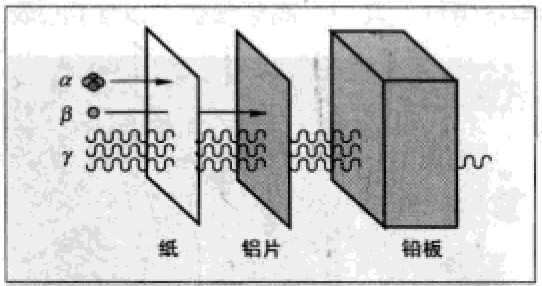


图1 三种射线穿透能力

■ 闪烁探测器。应用最广的核辐射探测器之一。由闪烁晶体、光电倍增管及相配的电子仪器组成。其优点为探测效率高、灵敏度高，特别是有机闪烁体的定时性能，中子、γ分辨能力和液体闪烁的内计数本领均有其独具的优点。

■ 半导体探测器。20世纪70年代发展起来的新型探测元件，常用材料为硅和锗。其优点为能量分辨率高、脉冲上升时间短、结构简单。

■ 计数管探测器，又称气体电离探测器。其基本原理是利用放射辐射对气体原子的电离作用。计数管是计数管探测器的核心部件，根据其工作放电区的不同，细分为：电离室计数管、正比计数管、盖革计数管等。

作为DIYer，由于不需要很高的精度，同时在DIY过程中还应考虑到器件易购买、高性价比、电路简单容易实现、调试方便等因素，“计数管探测器”方案便脱颖而出，成为此次核辐射探测仪DIY之旅的主角。

盖革计数器

盖革计数器是计数管探测器的一种典型且广泛被应用的方案。

盖革计数器（Geiger counter），又称为盖革米勒计数器（Geiger-Müller counter），由德国物理学家盖革（Hans Geiger）及他的学生米勒(Walther Müller)发明并改进。

1. 掀起“盖革计数管”的盖头来

盖革计数器，简称为盖革管，是根据射线对气体的电离性质设计成的。其核心部件“盖革计数管”的通常结构是（图2所示为端窗式盖革计数管示意图）：在一根两端用绝缘物质密闭的金属管内充入稀薄气体（通常为稀有气体，如氦、氖、氩等），在沿管的轴线上安装有一根金属丝电极，并在金属管壁和金属丝电极之间加上略低于管内气体击穿电压的电压。通常状态下，管内气体不放电，而当有高速粒子（射线）射入管内时，粒子的能量使管内气体电离导电，在丝极与管壁之间产生迅速的气体放电现象，从而输出一个脉冲电流信号。通过适当地选择加在丝极与管壁之间的电压，就可以对被探测粒子的种类（α、β、γ、X等）加以甄选。

盖革计数管实物如图3所示。盖革管是需要区分正负极的，其中正负极在管壁上已经清晰标注。对于正负极标识不清晰

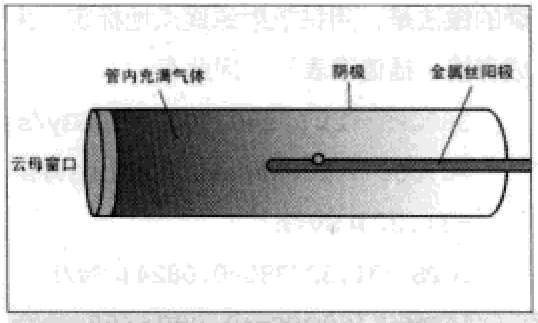


图2 盖革计数管原理示意图

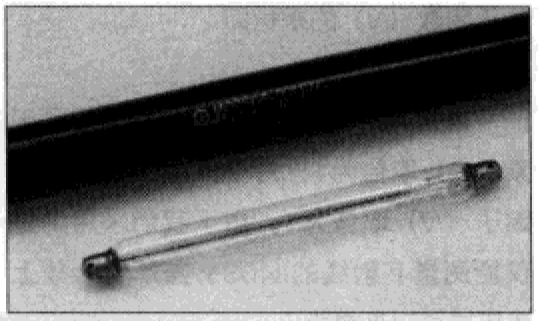


图3 盖革计数管的正负极

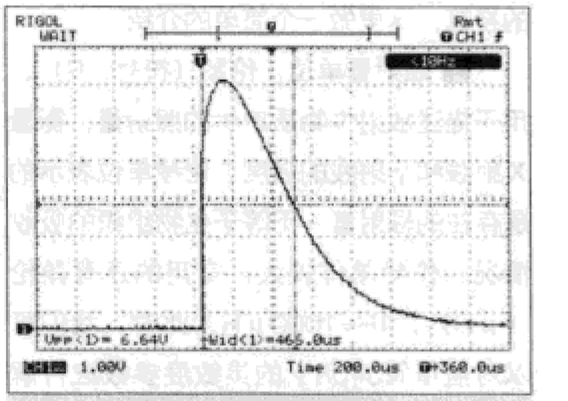


图6 用示波器观察盖革管输出脉冲

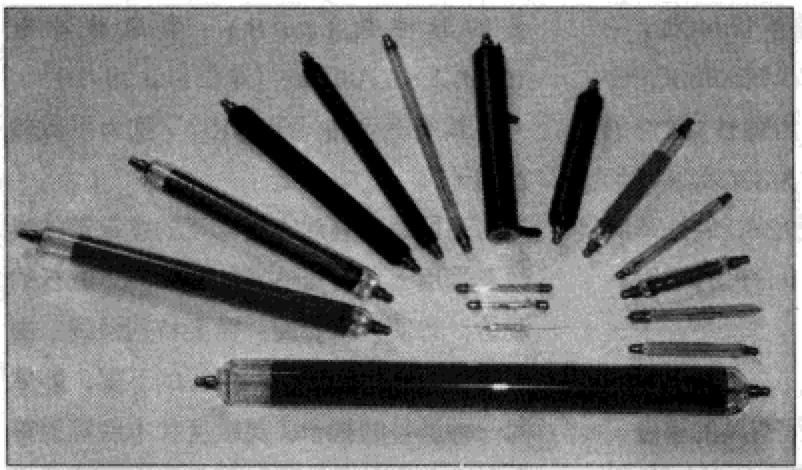


图4 玲珑满目的盖革计数管家族

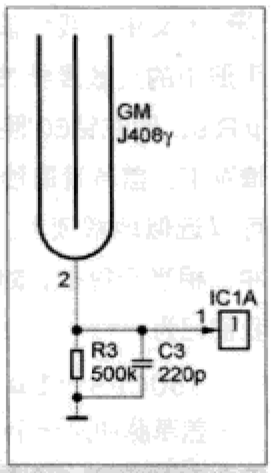


图5 盖革计数管J408γ实验电路图

或根本没有标注正负极的管子，也可以通过“与管壁相连接的一端为负极”的方法进行判断。

盖革计数管种类繁多，大小不一。受日本核泄漏事故的影响，原本零售价为几十元一根且鲜有人问津的盖革计数管被“奸商”们炒作至上百元至几百元不等。不少有市场眼光的厂商也转型重新生产盖革计数管。目前市售或网上能够买到的盖革计数管要么为20世纪60~70年代的老管子（处于战备目的，当时国内电子管厂生产了很多盖革计数管），要么就是近年来生产的新管子（出口日本等海外国家）。

笔者个人认为，如果不是以收藏为目的，考虑到老化等因素，新管子应该是DIY更好的选择。

在DIY过程中，我们选择盖革计数管，主要关注以下几个指标：

■ 尺寸、规格。一般来说，管子越大，其探测射线的灵敏度也越高，对应的本底计数也越高。

■ 起始电压、推荐工作电压。盖革计数管只有工作在这个电压，才能够正常计数。

■ 最大本底计数（单位：CPM，Count Per Minute，每分钟计数次数）。按照教科书的说法，在周围没有强放射源时，将管子放置在密闭铅室中测量得到的分钟平均计数值。实际环境中，由于受到宇宙射线和自然界中天然放射性核素发出的射线辐射，实测管子的本底计数值一般都高于最大本底计数。

■ 负载电阻。管子阳极需要串联的电阻大小，笔者称之为限流电阻。

■ 灵敏度（60 Co-CPS/μR/s）。用于业余条件下估算辐射剂量使用，在下文将有详细的介绍。

2. 听，那是来自核辐射的声音

说了这么多理论知识，就让我们一起通过一个实际的简单电路来测试一下盖革计数管吧。面包板就可以协助完成这个任务了。

图5中，盖革计数管为J408γ（如果采用其他型号的计数管，以下元件取值需要参照管子参数手册的说明）。供电电源选择400V，下文中将有详细介绍。R1为限流电阻，取值10MΩ，参数手册中也称之为负载电阻。R2，笔者将其称之为分压电阻，取值500kΩ，当脉冲发生时，用于获得电压。R1与R2的比值决定输出脉冲的幅度，即R2越大，其获得的分压值也越高。C1，早期文献中称之为分布电容，取5pF。C2为为滤波电容，取值220pF。

■ “所信者目也”。通过示波器，观察电容C2两端（图5中OUT与地之间）的波形，见图6。看，那是来自核辐射的脉冲！

■ “所信者听也”。对于没有示波器的朋友，也可以将耳机直接接到电容C2（图5中OUT与地之间）的两端。听！“喀、喀……”那是来自核辐射的声音！

3. 剂量换算“没那么简单”

一般来说，盖革管的脉冲计数（CPM）与辐射剂量（mSv，毫希沃特，日本核泄漏事故后，这个词语对于大家来说，应该是耳熟能详了）之间的换算，是需要用放射源进行标定的。显然，业余条件下，这是无法实现的。

这里介绍一种业余粗略的估算方法，也是爱好者唯一可用的转换方法。注意哦，仅仅是估算。

在换算过程中，会涉及3个剂量单位

的换算，这里做一个简单的介绍：

■ 照射量单位：伦琴（符号：R）。用于描述放射性物质产生的照射量，衡量X射线和γ射线的强度，伦琴单位表示的是存在的辐射量，不等于生物组织的吸收情况。伦琴单位较大，常用的还有微伦（μR），1R=1000μR。此时，我们可以对盖革管J408γ的灵敏度参数进行解读，Co 60 - 380CPS/μR/S表示为：在钴60照射量为每秒1微伦的情况下，盖革管每秒计数为380次。

■ 吸收剂量单位：戈瑞（符号：Gy）。用于衡量由电离辐射导致的能量吸收剂量的物理单位，它描述了单位质量物体吸收电离辐射能量的大小。

■ 剂量当量单位：希沃特（符号：Sv）。用于表示生物组织吸收辐射剂量的大小，定义是每千克（kg)生物组织吸收1焦耳(J)，为1希沃特。希沃特是个非常大的单位，因此通常使用毫希沃特（mSv），1Sv=1000mSv。此外，还有微希沃特（μSv），1mSv=1000μSv。通常，一次X光检查的辐射照射剂量约为0.1毫希。

照射量、吸收剂量、剂量当量三单位的物理意义是不同的，但对*X*、γ和β射线可以近似做一些数值上的换算：

■ 对*X*、γ和β射线，照射量与吸收剂量的换算。

1R≈0.0087Gy 即：1Gy≈119R

这里的换算采用的是国际电离辐射咨询委员会CCEMRI(I) 修订后的平均电离功 $33.97J\cdot C^{-1}$。需要特别指出，网络上广为流传的一种换算——1Gy=115R，采用的是修订前的平均电离功，是不准确的。

■ 吸收剂量（*D*）与剂量当量（*H*）的换算。

生物组织伤害程度不只取决于能量密度，也和不同的辐射来源（品质因数Q）、不同生物，或同一生物的不同部分、组织（其他修正因子*N*）有关。因此定义：在要研究的组织中，剂量当量（*H*）等于吸收剂量（*D*）、品质因数（*Q*）和其他一切修正因数（*N*）的乘积即：

$$H=D\cdot Q\cdot N$$

通常，对于*X*、γ和β射线，品质因素（*Q*）取值为1，对于人类，其他修正因子（*N*）取值为1。由于我们采用的是仅能测量γ射线的J408γ盖革管，故上述等式可以换算为：

H=D×1×1 即：1Gy=1Sv

■ 盖革脉冲数与剂量当量率的换算。

上文中，我们谈到盖革管J408γ的手册中的灵敏度特性：Co 60-380CPS/μR/s，即在钴60照射量为每秒1微伦的情况下，盖革管每秒计数为380次。我们可以近似地解读为：每秒380个盖革脉冲，相当于每秒1微伦（μR）的辐射。我们记为：

380CPS→1μR/s

盖革脉冲是一个与时间有关的单位，因此我们需要一个与时间有关的剂量当量，即剂量当量率（H）。剂量当量率单位时间内的剂量当量，单位有：Sv/h（每小时希沃特），mSv/h（每小时毫希），μSv/h（每小时微希）。

我们假定盖革管产生的脉冲数与辐射是线性变化的（实际上，盖革脉冲与辐射是非线性变化的，这里的估算有很大的误差，但业余条件下也只好如此了。比较准确的做法是，用钴放射源逐点地标定，生成表格，插值查表），因此有：

380CPS→1μR/s=0.0087×106Gy/s
=0.0087×106Sv/s=0.0087μSv/s
=31.32μSv/h
1CPS→31.32/380≈0.0824μSv/h
1CPM=1/60CPS→0.0824/60
≈0.00137μSv/h

辐射剂量当量率（*H*）=[测量的脉冲数（*CPM*）- 本底脉冲数(*CPM*)]×0.00137（单位：μSv/h）

其中笔者将“0.00137”称为系数转换因子。

下面是笔者对市售常见的盖革管的参数及采用上述方法估算的转换因子进行的汇总，方便大家参阅。需要特别强调，由于制作工艺（年份、厂家）的不同，即便同一种型号的管子，灵敏度和本底辐射等参数也存在差异，应以管子配套的参数手册为准。

基于Arduino的电路及程序设计

1. 电力，你要hold住

驱动盖革计数管，需要使用几百伏的高压，具体电压需要查看与管子配套的参数手册。因为仅需要微弱的电流，常用产

表1

型号	外径(mm)	总长(mm)	最大起始电压(V)	推荐工作电压(V)	γ灵敏度(Co 60)(CPS/μR/s)	本底CPM	工作温度范围(℃)	寿命(次)	探测对象	转换因子(1CPM相当于μSv/h)
J141αβ	37	60	1200	1300	-	60	-40～+50	108	α、β、γ	-
J302γβ	6	68	350	400	20	10	-40～+70	1010	γ和硬β	0.0261
J304γβ	11	95	350	400	50	15	-40～+70	1010	γ和硬β	0.0104
J305γβ	11	112	350	400	65	15	-40～+70	1010	γ和硬β	0.00803
J306γ	19	200	320	400	300	80	-40～+50	109	γ	0.00174
J401γ	13.5	91	350	420	50	10	-40～+50	1010	γ	0.0104
J403γ	23	263	350	420	470	130	-40～+50	109	γ	0.00111
J408γ	23	230	50	420	380	110	-40～+50	109	γ	0.00137
J613γ	9.5	66	350	420	10	10	-40～+50	1010	γ	0.0522
J614γ	7.5	55	350	420	10	10	-40～+50	1010	γ	0.0522
J622γ	12	130	350	420	50	10	-40～+50	109	γ	0.0104
J701γG	8	155	20	700	90	10	-40～+200	109	γ	0.0058
J702γG	8	115	620	700	50	10	-40～+200	109	γ	0.0104
J705γβ	5	28	400	500	10	10	-40～+70	1010	γ和硬β	0.0522

生高压的方式主要有以下两种：

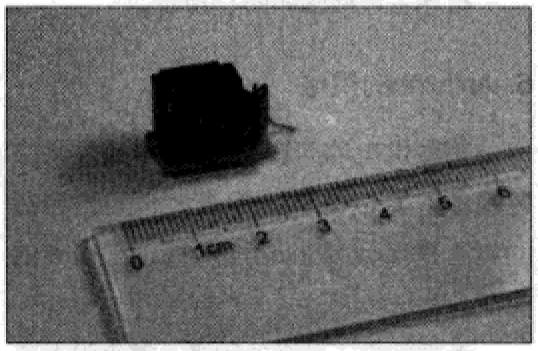
■ 自激式升压电路。

■ NE555构成多谐振荡器，驱动变压器升压。

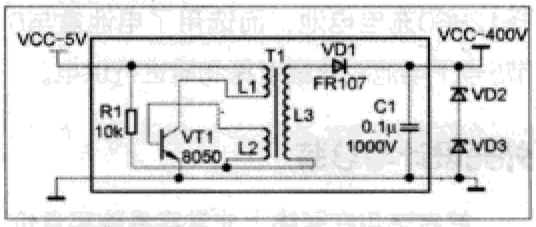
从使用的角度出发，笔者更倾向于采用“自激式升压电路”，主要因为其体积小、电路结构简单、容易从网上直接购买。笔者解剖了一只从网络上购买的采用自激升压方式的升压模块，其实物图、原理图分别如图7中（A）、（B）所示。

升压模块采用自激振荡升压方式，其中R1和L2提供VT1的基极电流。变压器3个绕组L1、L2同为45圈，L3为1200圈。线圈L3通过感应获得电压，通过快恢复二极管FR107整流，并通过电容C1滤波，L3同时又构成了线圈的反馈回路。

为了能hold住输出电压，笔者在末端串联了两个稳压二极管IN5388



（A）升压模块实物图



（B）升压模块原理图

图7

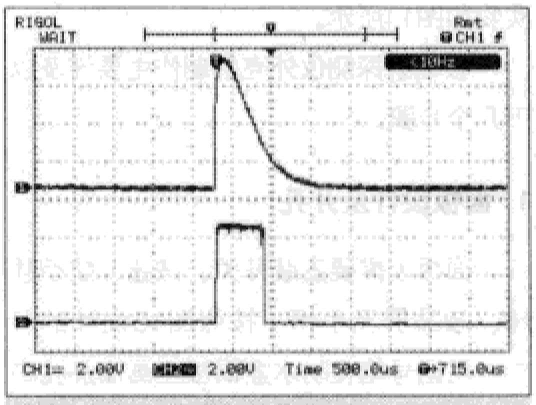


图8 采用CD4049整形后的脉冲

（200V/5W），完美了！

当然，升压电路也可充分利用从液晶显示器拆解出来的升压模块、电蚊拍升压模块等。只要稳压后的电压能够符合要求即可，这里就不详细介绍了。

2. 整形，脉冲可以更美的

在前面的介绍中，我们已经通过示波器看到了盖革管输出的脉冲为尖脉冲（Vpp，即峰峰值，约为6.64V）。

考虑到让脉冲可以完美，且在盖革管的输出与Arduino的输入之间形成隔离，有效保护Arduino的I/O口，电路中使用了CD4049的两个非门对尖脉冲进行整形。

通过示波器观察到的整形前后的脉冲对比，如图8所示。

3. Arduino闪亮登场

Arduino是一个开放的平台，包括一系列简单易用的控制板以及一个软件开发环境。Arduino将很多硬件底层的操作进行了封装，形成了一个个可供调用的库，这对于从事行业软件架构师的我来说，真是莫大的幸福。

Arduino之所以“这样红”，就是因为DIYer可以不关注硬件的细节（烦人的时序、底层的寄存器操作等），而将主要的精力集中在应用的软件设计上。

Arduino的控制板根据使用场合的不同，又分为Arduino Standard（Duemilanove、Uno均属于此列）、Arduino Nano、Arduino Mega（Mega1280、Mega2560均属于此列）等。本次DIY之旅，我们选用Arduino Duemilanove做为控制板。

Arduino Duemilanove控制板提供14个Digital Pin（0~13）的端口，其中可用于处理外部中断端口为Digital pin 2（INT 0）和Digital pin 3（INT 1）。

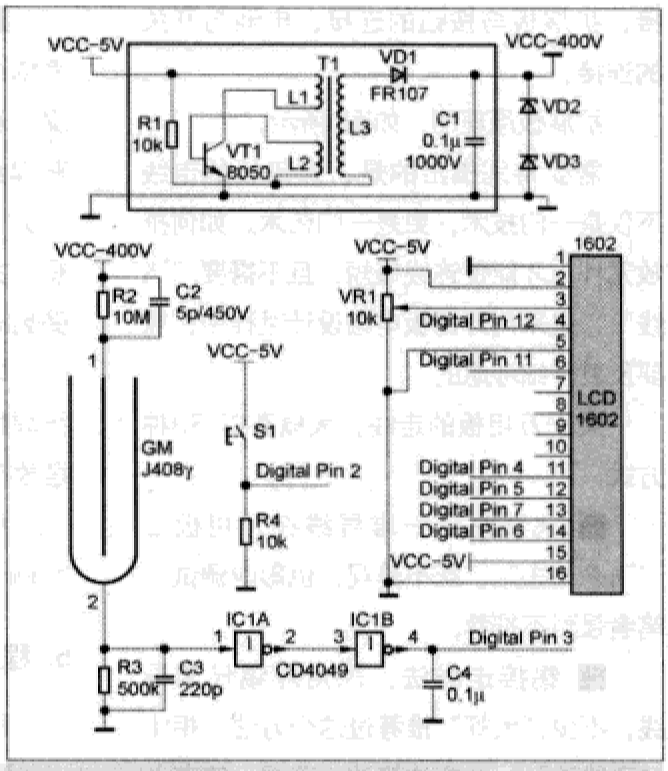


图9 扩展板原理图

对盖革管的脉冲进行计数，我们使用Arduino提供的外部中断接口INT 1，即Digital pin 3。

为了直观显示盖革管的计数结果，我们采用常用的LCD 1602作为探测仪显示单元。LCD 1602采用四线驱动的方式，分别使用Arduino的Digital pin 4、Digital pin 5、Digital pin 6、Digital pin 7、Digital pin 11、Digital pin 12。

由于盖革脉冲计数具有离散性，对一段时间内（1min、5min）的盖革脉冲取平均值，将使得测量结果更为科学和准确。这里，我们采用一个按钮对“实时”（6s刷新）、“1min”、“5min”三种统计方式进行切换显示。按钮的响应，使用Arduino提供的外部中断接口INT 0，即Digital pin 2。

4. Arduino扩展板的制作

高压及整形电路部分采用万能板进行焊接，并以Arduino扩展板的形式插到Arduino控制板上。

所有与外部器件的连接均采用接头方式，以方便拔插，这其中包括：扩展板与液晶屏的连接、扩展板与盖革管的连

接、扩展板与按钮的连接、电池与开关的连接。

扩展板原理图，如图9所示。

需要特别指出的是，万用板的走线不仅是一门技术，更是一门艺术。如何排放元件，才能使连线最短，且不需要“飞线”，是采用万用板电路设计过程中，需要反复仔细考虑的。

关于万用板的走线，大概有以下3种方式：

■ 飞线法：一堆导线在万用板上“飞来飞去”，既不美观，也影响调试，笔者强烈不推荐。

■ 锡接走线法：采用焊锡代替导线。不少“大虾”推荐过这个方法，相比“飞线法”，此方法简洁、美观。笔者之前也试验过，但在使用过程中发现，一方面需要大量堆积焊锡，造成一种浪费，另一方面，由于采用焊锡走线，也容易使焊盘和元器件长时间受热。以笔者个人的观点，也不建议采用这种方式。

■ 硬质导线走线法：这种叫法是笔者创造的。笔者使用电脑网线，剥去塑料皮，裁剪并弯曲成需要连线的路径，紧贴焊盘进行走线焊接。使用这种方法，一方面可以继承“焊锡走线法”的美观，另一方面可以克服“锡接走线法”受热时间长的缺点。

采用“硬质导线走线法”对万用板进行焊接后的实物图如图10所示。元器件摆放布局如图11所示。

扩展板制作完成后，可以直接插接到Arduino主板上，实物如图12所示。

5. 程序，可以很简单

程序要完成的任务如下：

■ 对来自反向器整形后的盖革管脉冲进行计数。

■ 对一段时间（6s、1min、5min）的盖革脉冲计算平均值

■ 盖革脉冲与辐射剂量的换算

■ 控制LCD 1602的显示

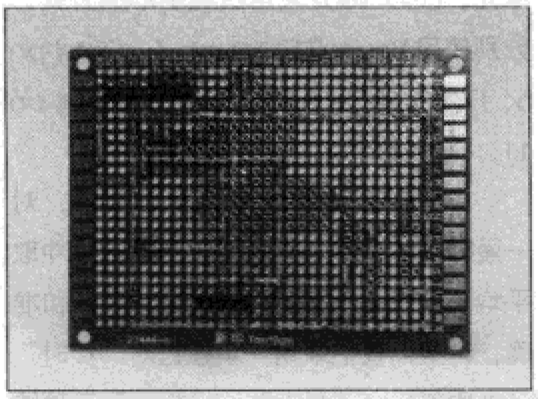


图10 扩展板布线

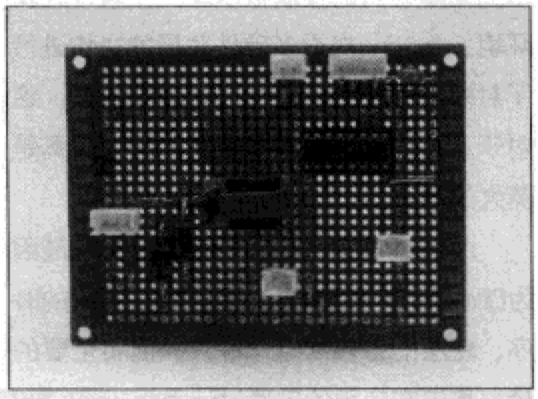


图11 扩展板元器件摆放

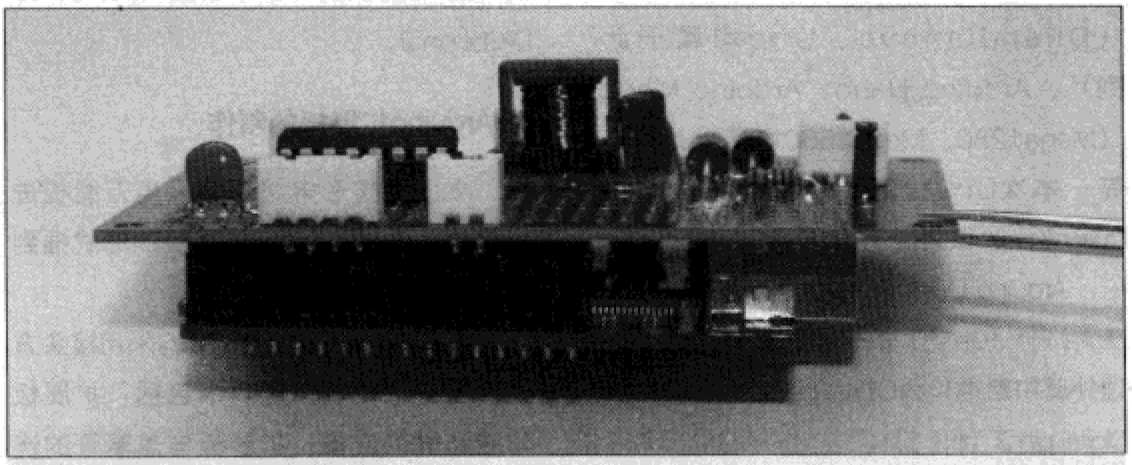


图12 扩展板与Arduino插接实物图

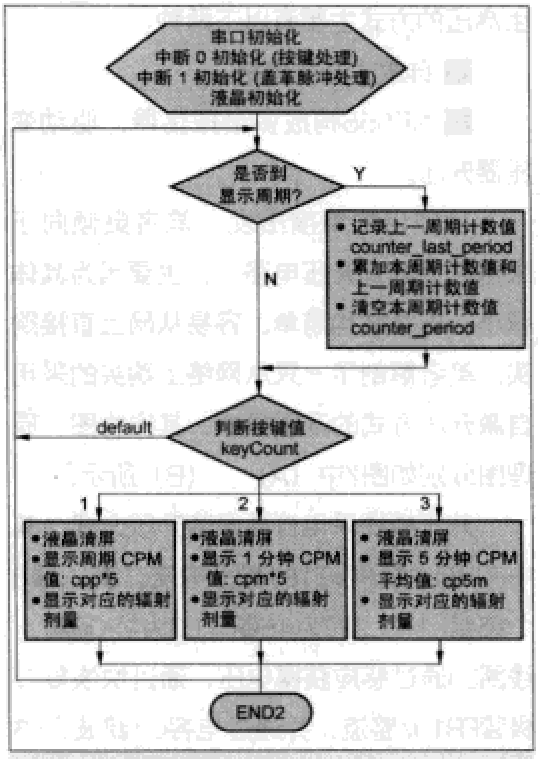


图13 程序流程图

■ 响应按钮，实现“实时”、“1min”、“5min”三种显示模式的循环切换

程序主流程图如图13所示。

6. Arduino的供电

装置供电的问题，是DIY中最容易被忽视的，看似简单，却有大学问。合适的电压是保证Arduino控制板正常运转的前提。

考虑到易于更换的因素，笔者没有选择12860充电电池，而选用了电池盒与6节5号干电池对核辐射探测器进行供电。

外壳设计与总装

笔者选用在网络上非常容易购买且价格低廉的塑料防水盒作为核辐射探测仪的外壳，其规格为200mm×120mm×75mm，实物如图14所示。

核辐射探测仪外壳的制作主要涉及以下几个步骤。

1. 面板设计及开孔

面板上需要安装开关、按钮、航空插座、液晶屏及手柄。按照图15设计的尺寸，用记号笔在防水盒面板上画出开孔的位置，如图16所示。

■ 采用手电钻和相应尺寸的钻头，在面板上开孔。液晶屏的方孔是整个面板开孔中最为复杂的一道工序，主要采用“钻、挖、修”的方法。

■ 在记号笔画出的液晶屏区域内钻孔，见图17。

■ 采用斜口钳将孔间的塑料间隙剪断，并将镂空部分的塑料余料挖出。使用锉刀将孔打磨平整。

经过一番努力，核辐射探测仪的面板部分就完成了，如图18所示。

2. 面板器件的安装

面板上需要安装开关、按钮、航空插座、液晶屏及手柄。其中，笔者采用五金店都可以购买到的不锈钢橱柜把手来作为手柄。

防水盒的壁厚为4mm左右，笔者考虑到美观的因素，所有的螺丝、铜柱的固定均采用防水盒钻孔的方式，尽可能不用或少用螺母。以下是固定液晶屏的方法。

■ 在防水盒面板内部，液晶屏固定孔位置上，采用 2mm 钻头钻孔，见图 19。

■ 使用3mm螺丝，从背面攻入2mm的孔中，在兼顾美观的同时，也达到了固定液晶屏的目的，见图20。

面板器件安装完成后，如图 21 所示。

3. 主控板和电池盒的固定

主控板（Arduino主板+扩展板）采用铜柱进行固定。上文中已经提到，我们选择6节5号干电池对探测仪进行供电。笔者采用铝片对电池盒进行固定，以方便拆卸，如图22、图23所示。

4. 盖革管探头及固定

盖革管为玻璃封装，易碎，我们需要给它找个“外套”。笔者选用在五金店可以随处买到的直径为25mm的PVC水管作为盖革管的“外套”，使用水管的塑料管盖作为盖革管的“帽子”。 笔者还在防水盒的侧面安装上了与PVC水管配套的塑料管卡，这样，辐射探测器在平时不使用的时候，盖革管探头可以直接固定在防水盒上，具体材料见图24。有点成品的味道吧！

如果有条件的话，我们可以使用屏蔽线将盖革管的正负极引出，以达到较好的

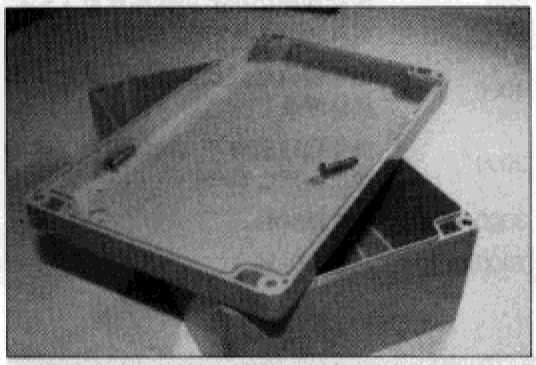


图14 塑料防水外壳实物图

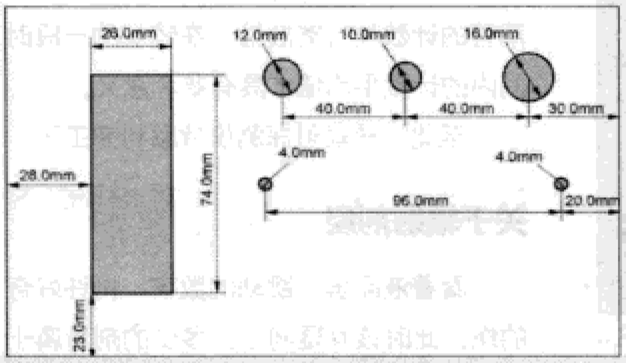


图15 面板设计图

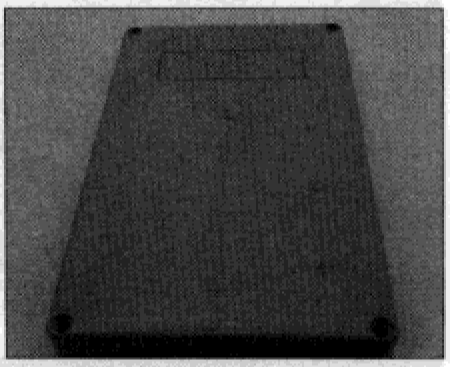


图16 使用记号笔画出开孔的尺寸

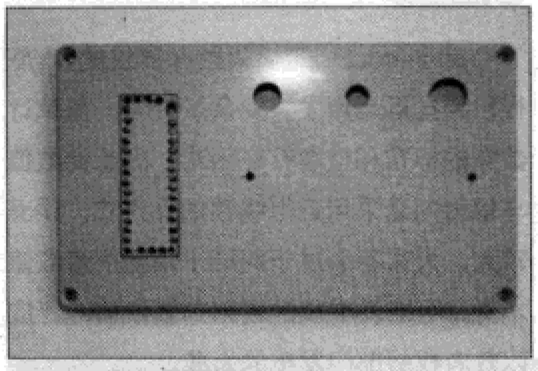


图17 开孔完成后的面板

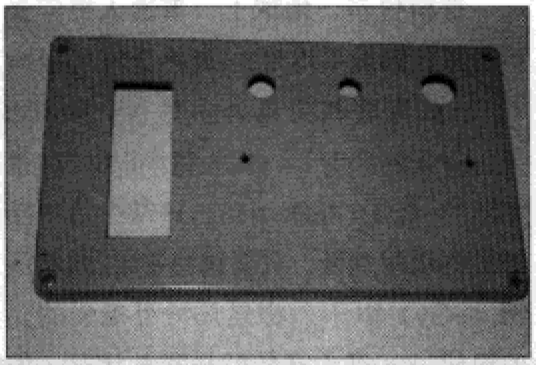


图18 面板制作完成

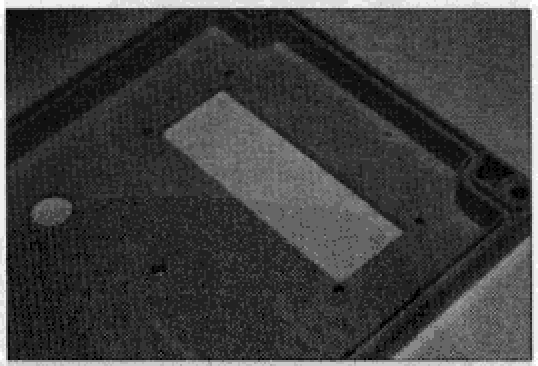


图19 液晶屏固定孔

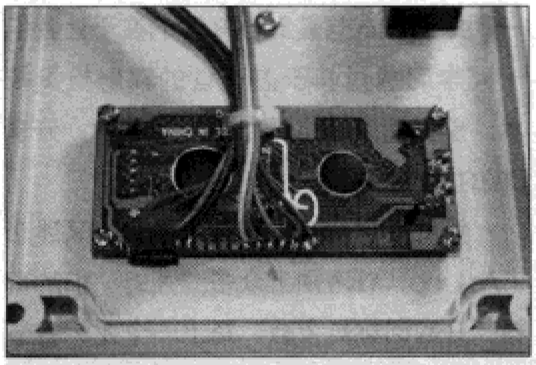


图20 使用螺丝从面板里面固定液晶屏

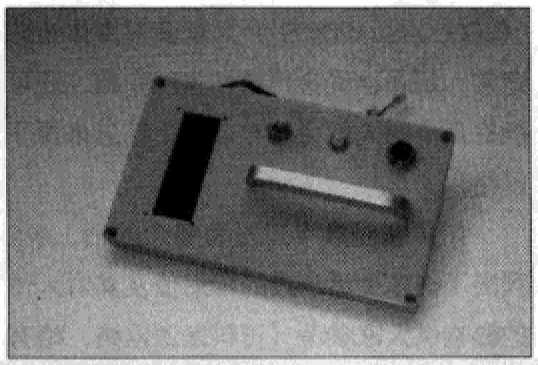


图21 面板器件安装完成

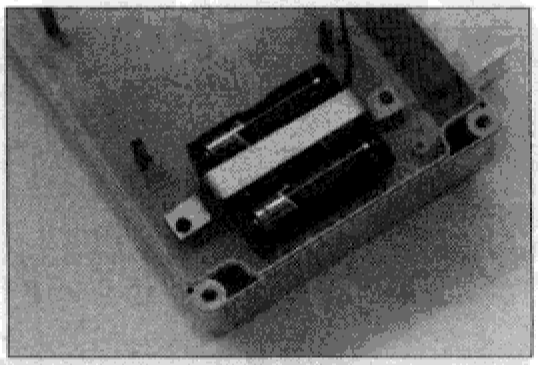


图22 使用铝片固定电池盒

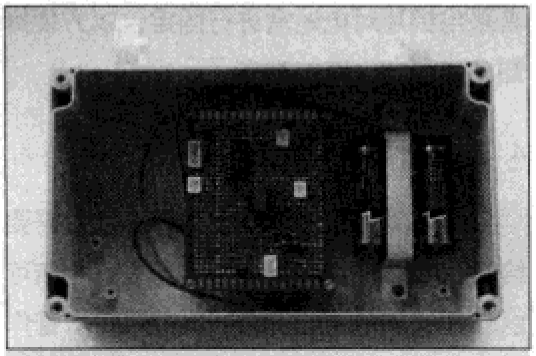


图23 主控板及电池盒固定完成

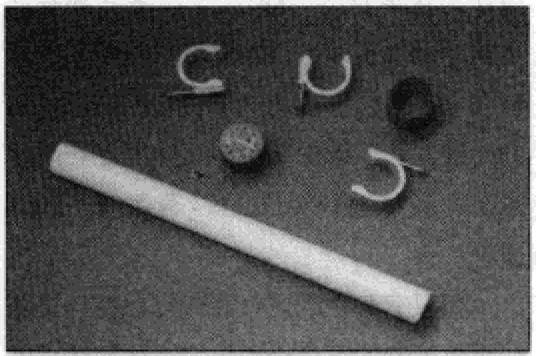


图24 制作盖革管探头材料

图25 完成后的盖革管探头

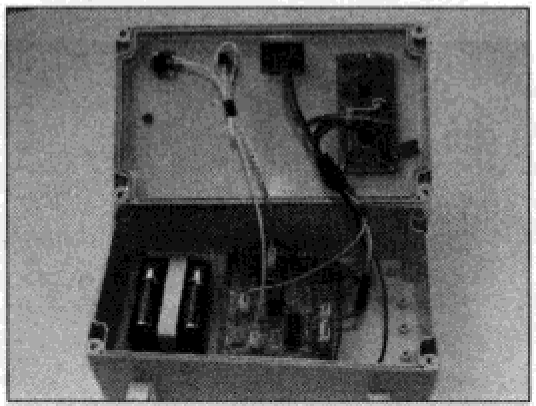


图26 连接主控板上的插座，梳理导线

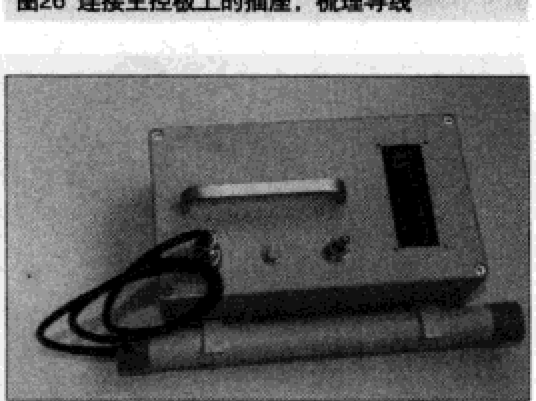


图27 组装完成

信号屏蔽效果，并与航空插头相连接，这样盖革管探头就完成了（见图25）。

5. 总装

检查一下电路，将各插口连接，并梳理导线，必要的时候，使用电工胶布或绑线进捆扎，如图26所示。组装完成后如图27所示。

见证奇迹的时刻

一切准备就绪了，让我们屏住呼吸，下面就是见证奇迹的时刻了……

上电，液晶屏点亮了！数字在跳动，此时的兴奋是无法用言语表达的。

液晶默认显示6s刷新统计的辐射计数值及对应的每小时辐射剂量值。我们通过面板上的切换按钮，还可以切换显示1min平均值及5min平均值。一般来看，由于盖革管的计数具有离散性，在较长的一段时间内的计数平均值才具有参考意义。

至此，核辐射探测仪就顺利完工了！

关于辐射剂量

看着液晶屏上跳动的数字，也许好奇的您，此时该有疑问了：多少的剂量属于正常辐射范围呢？

资料显示，地球上，普通人每年受到的累计辐射平均为2.4毫希沃特（mSv/Y）。如果将其折算为小时（一年365天，一天24小时），约为每小时0.274微希沃特（0.274μSv/h）。日常生活中接触到的辐射剂量，只要维持在0.2微希沃特（μSv）以下，都是正常可接受的。如果超过20微希沃特就是紧急状况，如果人体瞬间接受辐射量超过2万微希沃特（20000μSv=20mSv），就会对身体造成危害，超量接受会严重伤害脑中枢，还可能在几小时内就会死亡（以上信息来源于网络）。

如果您对数字还没有概念的话，表2列出了许多生活场景的辐射值及其对人体的影响供大家参考（资料来源网络，略有删减）。

表2

辐射剂量（mSv）	影响和标准
0.1～0.3	做一次X射线胸部透视的剂量
0.2	乘飞机从东京到纽约之间往返一次的剂量（宇宙射线和飞行高度有关）
1.0	一般公众一年工作所受人工放射剂量（ICRP推荐） 从事辐射相关工作的妇女从被告知怀孕到临产所受人工放射剂量极限
1.2	与1天平均吸1.5盒（30支）纸烟同居的被动吸烟者一年累计辐射
2.4	地球人平均一年累计所受辐射（宇宙射线0.4，大地0.5，氡1.2，食物0.3）
4	一次胃部X射线透视的剂量
6.9	1次CT检查
13～60	1天平均吸1.5盒（30支）纸烟者一年累计
100	已证明对人体健康明显有害的辐射剂量极限
250	福岛第一核电站事故现场人员暂定辐射剂量上限 白血球减少
500	淋巴球减少 国际放射防护委员会规定除人命救援外所能承受的辐射极限
1000	出现被辐射症状，恶心、呕吐、水晶体浑浊
2000	细胞组织遭破坏，内部出血，脱毛脱发，死亡率5%
3000～5000	死亡率50%
7000 以上	死亡率99%

写在最后

基于Arduino的核辐射探测仪的DIY旅程已经接近尾声了。业余条件下，盖革计数管的标定和校准存在困难，因此计数值与辐射剂量采用近似线性估算方式，误差较大。大家不必过于纠结于辐射剂量数值本身。可靠及准确的辐射剂量数值，还应以政府权威部门发布的为准。

基于Arduino的核辐射探测仪，做为一种探索性试验装置，其目的在于让我们一同学习探讨基于盖革管的辐射检测技术，感受捕捉悄无声息辐射的乐趣，分享DIY的成果。

恰好手里有几只盖革计数管，又迷恋上Arduino，参考网上众多“大虾”们的资料，几回回挑灯夜战，搭上一个龙年春节假期，于是有了本文，与大家分享。

◇伍浩荣

开源的五色LED音乐频谱

我们用电脑音乐播放器播放音乐时，不少人都喜欢看显示屏上随音乐而跳动的竖条，一跳一跳的，动态十足，很酷。正好最近有时间，看到有好的制作都想自己动动手，于是就做出了本文要介绍的这个五色LED音乐频谱。

当然，这个制作我不是首创，国内有很多人都有成功的作品，但大多是不开源的，对于初学者想要学习一下其中的原理不太容易。因为我对这个制作比较感兴趣，于是自己研究了一下，靠自己的点滴知识终于琢磨出来了，特在本文中向大家开源，供大家学习。好了，不多废话，来看看俺的版本。

如图1所示，正面看仅是一个LED显示屏，从左到右分别由黄、红、绿、蓝和粉红这5种不同颜色组成的5条光柱，电路的控制部分在后面的一层洞洞板上，用铜柱子把前后两层洞洞板固定起来，这样整体上看起来就干净利落，而且也能让这个“音乐频

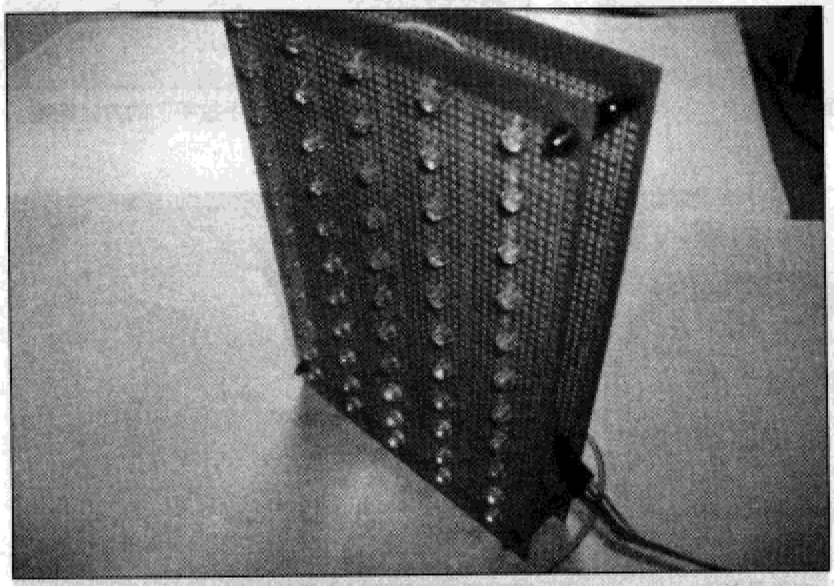


图1 在洞洞板上做好的LED显示屏

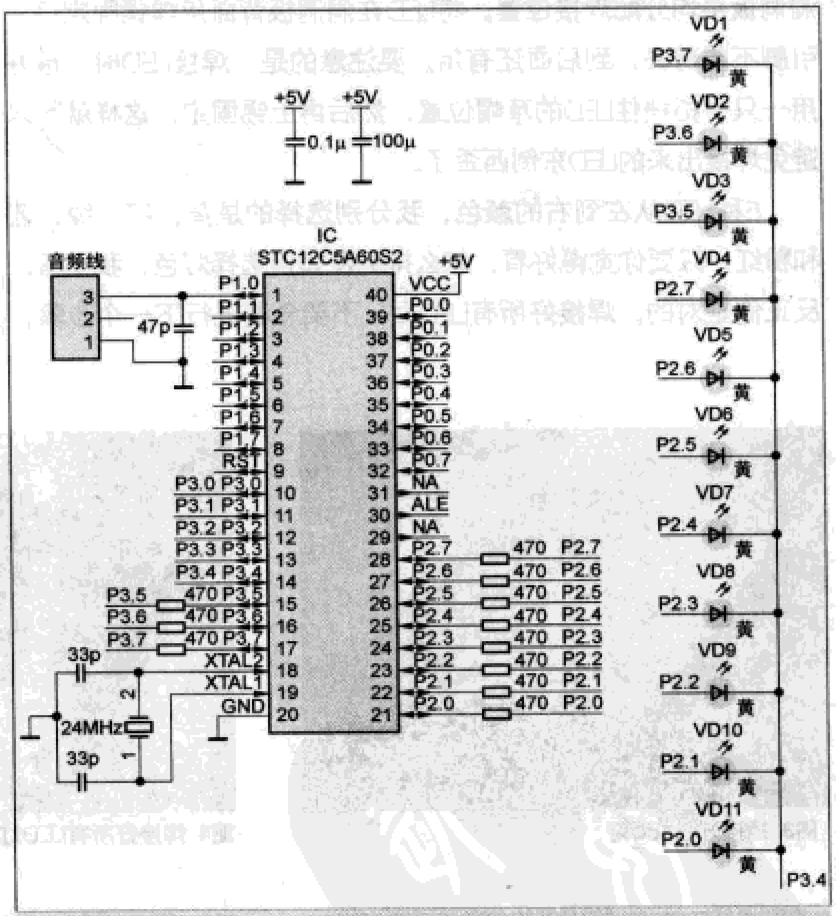


图2 电路原理图

谱显示仪”直接立起来，方便观看。控制电路主要采用单片机来实现控制，单片机的程序中还加入了自动增益功能，能根据音量的大小而改变光柱的高度，从而不会出现满屏或者不亮的情况。

先来看看电路图吧，如图2所示。

下面我进行图文详解，“懒惰者”可以直接看图，跳过文字的说明，因为图片已经能说明一切了。

首先，我们要在12cm×18cm的洞洞板上焊接LED。要先量

附表　制作所需元器件

STC12C5A 60S2 单片机	1块
12cm×18cm洞洞板	2块
黄、红、绿、蓝、粉红等草帽LED	各11个（可根据个人爱好而选择颜色）
3.5mm音频插头	1个
一分二音频线	1个
24MHz晶体振荡器	1个
33pF电容	2个
40脚单片机插座	1个
470Ω贴片电阻	11个
排插	若干
铜柱	4个
并排8针的杜邦线	2条

度好板子，合理分配每个LED的焊接位置，每一列的光柱为11个，总共有5列，经过分配后就可以先插接上LED，如图3所示。每个LED的间隔为洞洞板的5个洞，我们也可以根据各自选用的洞洞板平均分配焊接位置。将LED在洞洞板背面用焊锡固定好，引脚不要剪去，到后面还有用。要注意的是，焊接LED时，最好用一只手指扶住LED的草帽位置，然后再上锡固定，这样就可以避免焊接出来的LED东倒西歪了。

5种LED从左到右的颜色，我分别选择的是黄、红、绿、蓝和粉红。只要你觉得好看，怎么排列及如何选择灯色，我不管，反正你是对的。焊接好所有LED后，不要急着进行下一个步骤，先用3V的纽扣电池逐个测试，看每个LED是否能亮起，免得到制作完成后才发现有的LED不亮就麻烦了。这里提醒一下，引脚焊接时间过长会损害LED，焊接时一定要注意。

图4所示为焊接好所有LED的背面，注意LED的引脚不要弄歪了，同时注意焊接点不要出现虚焊的情况，检测完毕，再进入下一步！

接下来，把LED的负极端（较短的一根引脚）逐个向下弯曲，如图5所示，形成“手拉手”的状态，这种方法是笔者在国外的网站上学到的，我目前确实还未找到比这种方法更好的处理方法，“拿来主义”，在这里借用一下。

要确保每一种颜色的LED的负极端都接触在一起，而且要注意弯曲的时候要尽量压低负极的引脚高度。完成这一步骤后，如图6所示。

接下来处理LED的正极端（较长的引脚），也按照同样做法，把LED的正极端弯向右边，同时也要确保每一行的正极端接触在一起，如图7所示。特别要注意，正极弯曲的时候不要接触到之前的负极。由于正极端引脚较长，因此可以让正极弯曲后的高度高一些，正极和负极形成一定的高度差。还可以用绝缘胶带缠在每个交叉点上，一方面可以防止正负极误触，一方面保证同级的连接。

如图8所示，分别把正、负极的接触点都用焊锡焊接上，并且把多出的一部分引脚修剪掉。完成这一步，音乐频谱显示仪的显示部分就完成了。

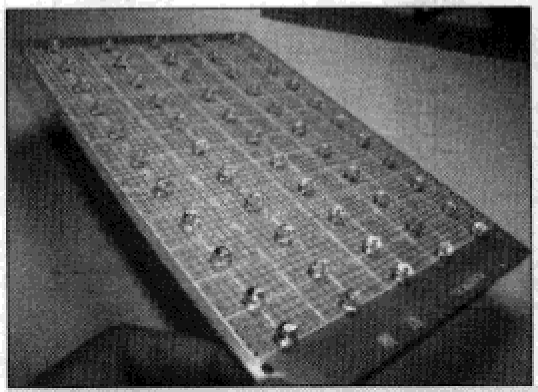


图3 插接好的LED灯

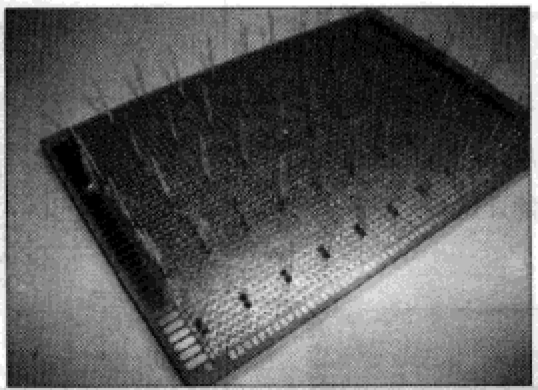


图4 焊接好所有LED灯的背面

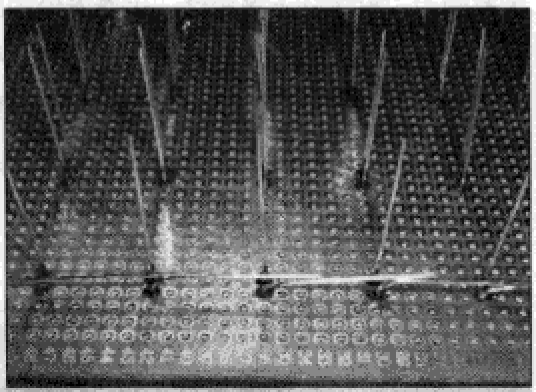


图5 LED灯的负极端采用“手拉手”的方式连接

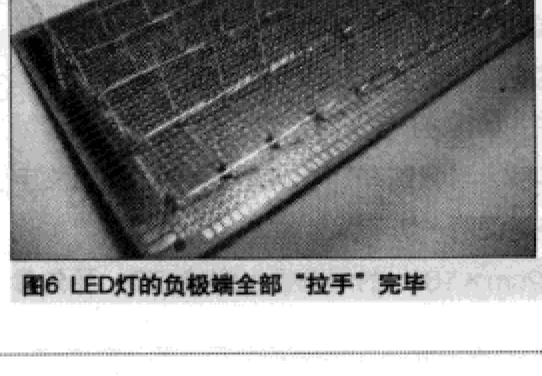


图6 LED灯的负极端全部“拉手”完毕

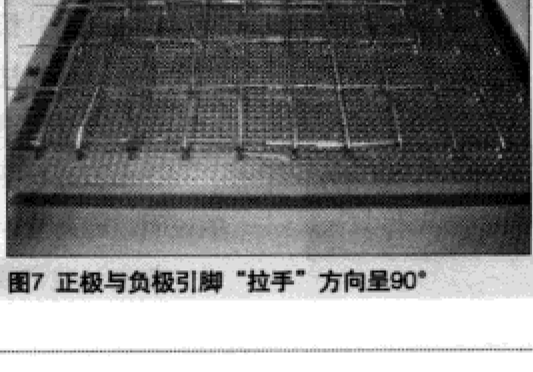


图7 正极与负极引脚“拉手”方向呈90°

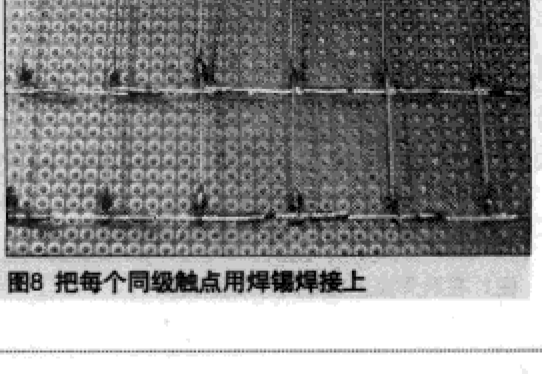


图8 把每个同级触点用焊锡焊接上

接下来，焊接控制电路部分。按照电路图，控制电路并不复杂。先在另一块12cm×18cm的洞洞板下方焊接好单片机的IC插座和晶体振荡器，焊接好后如图9所示。注意，IC插座是倒着焊接的，还有，晶体振荡器选用的是24MHz的，不要选错了。然后，在IC插座的背面焊接上470Ω的贴片限流电阻，如图10所示。当然，如果没有贴片电阻，也可以选择直插电阻。

接着，分别在如图11所示的位置上，焊接上两排8针的排针，同时还要在电源正、负极之间焊接上0.1μF的滤波电容，用以滤掉电源的高频信号干扰，而且参照STC单片机的数据手册，还需在AD采集端口和地线之间接上一个小于50pF的电容，我选用的是47pF的电容。

接下来，打开一个3.5mm的音频插头，在内部用排线分别引出地线和左、右声道任意一个声道线。选用合适长度的排线即可，最好选用内部是铜线的，减少干扰。

把两条排线分别接上单片机的AD采集端口（我选用的是P1.0口）和地线，为了不使排线摆动时弄断接触部分，还要把两根排线用线捆绑固定住，如图13所示。

接下来，把两条8针的杜邦线的一端剪去，在每一根排线的一端剥去熟料部分，使其露出铜芯，按照电路图，用焊锡把每根线分别接上LED显示部分的正极和负极，然后，对应好位置后，把杜邦插座插到先前焊接好的排针上面，焊接完成后如图14所示。

在IC插座上插上下载好程序的单片机后，选用合适高度的铜柱子通过两块洞洞板4个角上的洞把它们固定起来，这样不仅可以保护内部的控制电路部分，而且显示屏还可以立起来，方便随时更改摆放位置。完成后如图15所示。

把一分二的音频线分别插上音箱的音频线和音乐频谱显示仪的音频线，另一端插在电脑或者其他播放设备上面，如图16所示。

从原理上讲，完成上面的制作步骤，这个作品就可以工作了。但是经过一段时间的使用，我发现音乐频谱的显示会出现不稳定的情况，比如，在我还没有插上播放设备时，也会有所显示。后来经过一番探究，发现原来是电源输出不稳定造成的，之前的0.1μF电容已经把电源的高频信号滤掉，但是电源还有低频的干扰信号，于是还要在电源正、负极之间加上一个100μF左右的电容，我加上这个电容后就没有出现之前的情况了。考虑到方便程序更新的问题，我还把单片机的下载引脚都引了出来，以方便程序更新、调试，如图17所示。OK！大功告成！

这样，我们再将作品接入电脑端，播放音乐，五色LED音乐频谱显示仪就可以稳定地随着音乐的播放而“跳跃”了。

接下来，我再给大家介绍一下这个制作的关键——单片机编程部分。

程序的核心就是采集信号处理部分，这部分运用的是FFT算法处理读得的AD数据，也就是离散傅立叶变换的快速算法。由

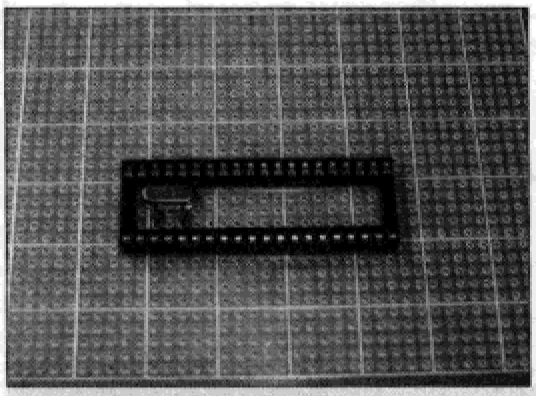


图9 焊接好IC插座和晶体振荡器

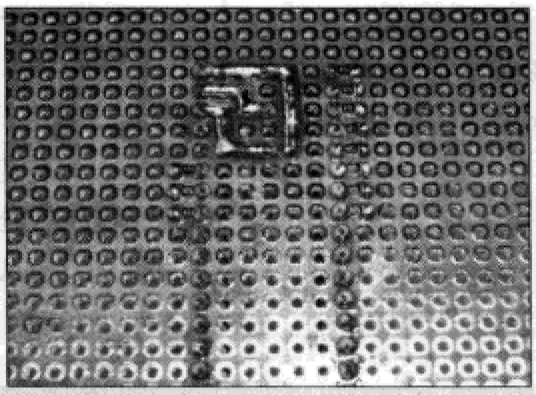


图10 焊接贴片电阻

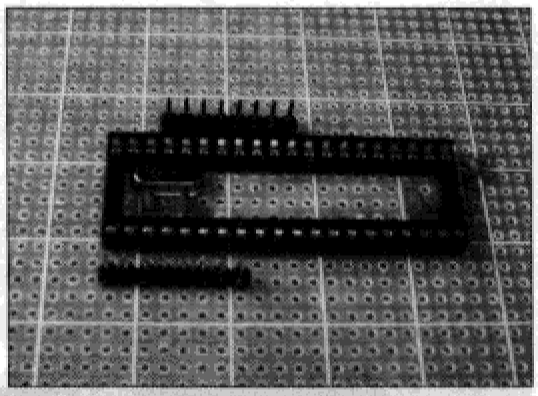


图11 按所示位置焊接排针和电容

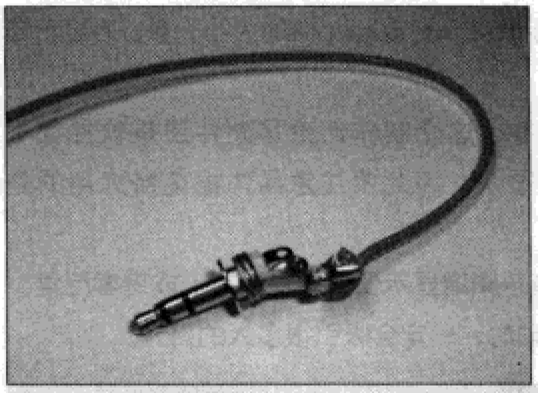


图12 3.5mm音频插头

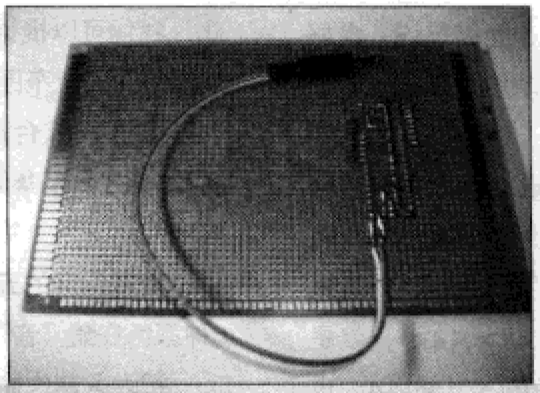


图13 焊接并固定排线

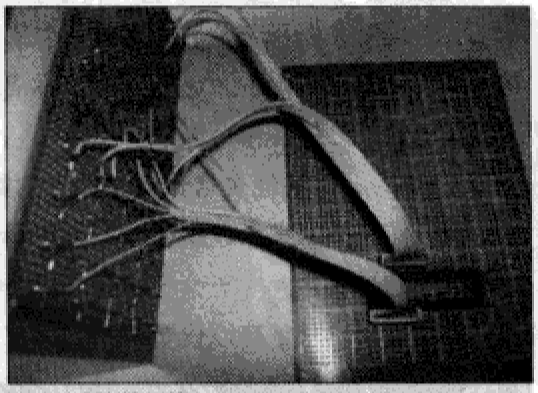


图14 连接杜邦线

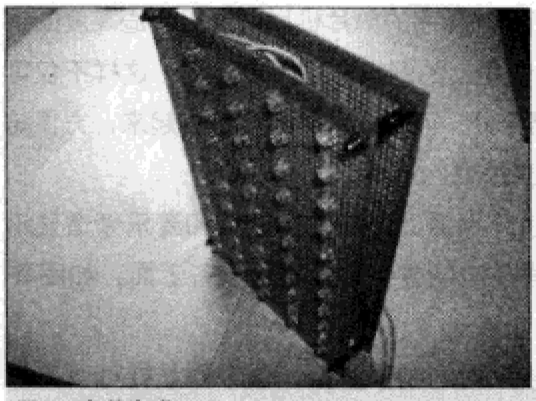


图15 安装完成

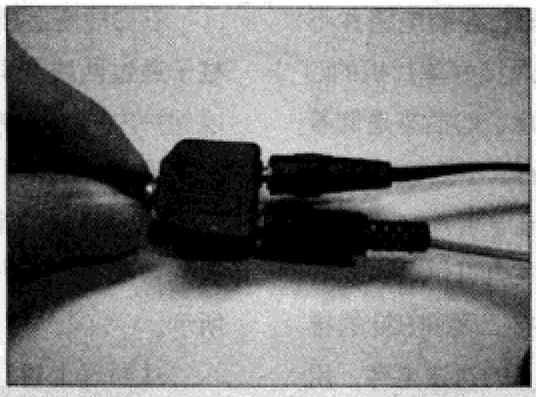


图16 插好音频线

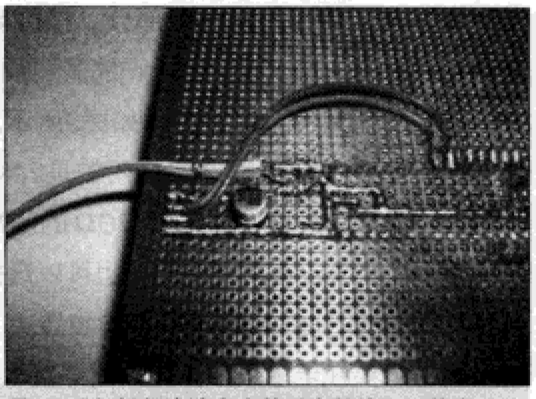


图17 添加低频滤波电容并引出单片机下载脚

于本人大学时期高数没有学好，只能不断搜索资料大概了解了一点，具体的FFT算法参照了网上现成的程序，然后把从音频信号中读得的AD值经过FFT公式处理，取出频率幅度值，把得到的值量化为LED亮起的相应个数，使LED显示出来。这就是整个算法的主要运用，我应该说是站在前人的肩膀上完成的。

“曾经有一本高数放在我面前，我没有好好珍惜，把它学好，等到后来我后悔莫及”，所以，想学好电子的朋友们一定要把高数学好啊，不然处理相关问题就会遇到瓶颈！

当然，采集信号处理部分的理论讲解会涉及一大堆的概念，在此不一一分析了，大家有兴趣可以上网搜索资料，也可以在《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载源程序代码研究。

数据的采集是运用了STC12C5A60S2的内部自带的AD读取功能，根据数据手册，可以设置为12位或者8位的AD，考虑到读取速度和实际情况，设置为8位数据已经足够了。单片机的AD读取程序在数据手册有了现成的模块程序，只要注意把读取端口设置为高阻态模式，如“P1M0=0x00;P1M1=0x01;”，就可以把P1.0口设置为高阻态模式了。

由于51单片机处理这些大量数据的运算过程稍慢，因此LED扫描显示部分用了一个定时器去处理，每隔3ms扫描一个光柱，这就是运用了传说中的视觉暂留原理，大家应该都会了吧？这样就可以实时显示相应的LED。

原本程序编写要点的介绍到这里就结束了，但是在最初实际使用中我发现，输出声音过小会没有显示，声音过大了就满屏显示了。这里就会涉及一个自动增益处理的问题，也就是说，最好具有能自动根据声音的大小而调节显示幅度的功能。于是，我又编写了增益部分的程序。

“<<keep”是什么意思呢？原本对数据进行放大是在读得的数据后面再乘以某个数就可以，但是乘法的运算会减慢单片机的运算速度，在各大电子论坛的网友讨论中，我了解到，对数据进行左移或者右移就可以代替乘法的运算了，如0x01<<1，就是0x01乘以2，也就是2的一次方，0x01<<2，就是0x01乘以4，也

程序

```
for(i=0; i<64;i++)//自动增益程序
  {
    FftReal[BRTable[i]] = STC_ADC()<<keep;//使显示保持在一定范围内
    FftImage[i] = 0;
  }
keepnum=FftReal[2]/32;//提取等级数
if((7<keepnum)&&(keepnum<=8)) {keep=1;}
else if((4<keepnum)&&(keepnum<=6)) {keep=2;}
else if((2<keepnum)&&(keepnum<=4)) {keep=3;}
else {keep=5;}
```

就是2的二次方。因此，上述程序中的keep就是数据放大的2的多少次方，这样用左右移就可以提高单片机的运行速度了。至于keep的值取多少合适，这要在实际的外部播放环境下进行选择，经过多次数值修改，觉得合适就可以了。要注意的是，FftReal的数据类型为int型，不能是char型了。

“keepnum=FftReal[2]/32，”这个语句的意思是提取一个AD值用来判断此时声音的大小，因为是8位AD数据，因此除以32就可以得知8个等级数，然后对其进行实际的补偿就可以了。因此，我们可以根据实际情况来更改keep值的大小，使LED显示幅度限制在一定范围。

因此，综合起来看，这个制作无论是硬件还是软件都不算难，由于采集速度很快，因此要注意晶体振荡器选用的是24MHz。

把制作好的五色音乐频谱显示仪摆放在书桌上或者客厅里，5种颜色在随“音”而动时，一定会吸引很多人的目光。

祝大家制作愉快！

会“看家”的电话

——给普通电话加装防盗报警功能

◇姚宗林　王明英

本文介绍的会“看家”的电话，是对普通有线电话或无线座机的内部电路进行适当改进，平时仍然可以作为一部普通的电话使用。在启动机内新增的报警监控功能时，电话主机便可以作为一部远程报警设备使用，如当机内的配套红外探头或其他类型的监测探头检测到室内有盗贼情况时，报警监控电路就会控制拨打预存在话机内的电话号码报警。我们给普通的电话只增加很少成本就让它具备了远程防盗报警功能，达到一机两用的目的，而且通过对电路的合理设计和精心制作，可以很好地保证电话在通信、报警两种工作模式下都具有良好的操作性和稳定性。本制作简单易制、经济实用，是电子爱好者一个不错的制作选题。下面介绍一下制作的方法以及有关的注意事项。

电路原理

1. 红外探头和遥控器部分

如图1（a）所示，人体活动产生的红外信号通过红外探头的菲涅尔透镜的汇聚作用，聚集于红外探头内部的热释电红外传感器的接收窗，使其输出的电压信号发生改变，此信号通过传感信号处理集成电路BISS0001的14脚输入到内部的运算放大器，放大处理后从其2脚输出控制信号，经VT1反相放大输出一个低电平信号。此信号加至编码集成电路PT2262的14脚编码启动端，启动内部编码电路工作，并从其17脚输出含有编码信息的电压信号，通过电阻R3驱动开关晶体管VT2导通或截止，以此来接通或断开315MHz高频发射电路的电源，使其处于随外部控制信号控制的间歇性等幅高频振荡状态，产生二进制振幅键控（OOK：On-Off Keying）高频信号，并通过发射天线E1向外发射。

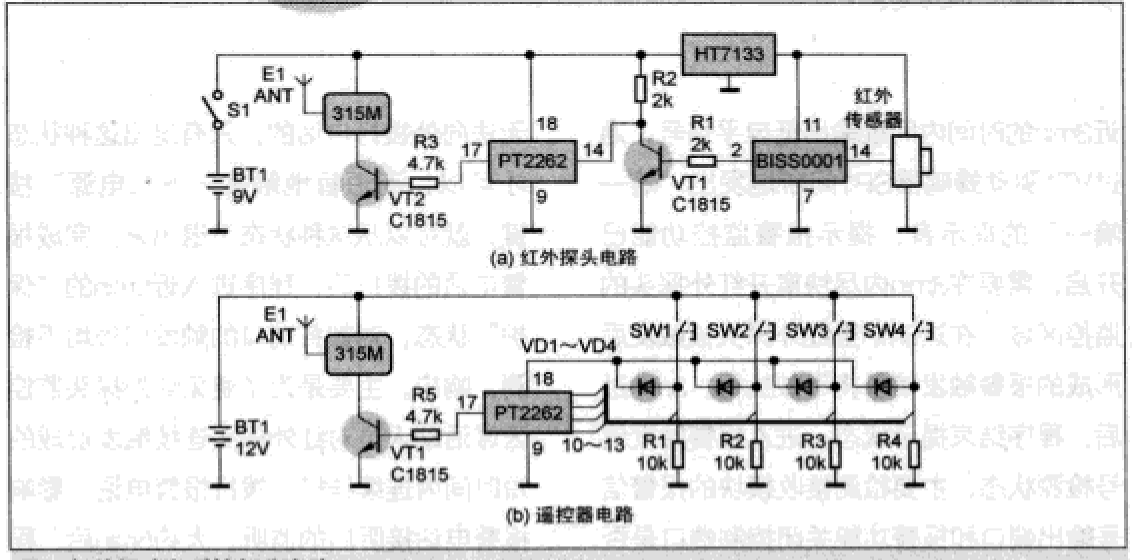


图1 红外探头和遥控部分电路

遥控器内部电路如图1（b）所示，可见其内部有与红外探头内部类似的PT2262编码以及315MHz高频发射电路，只是PT2262的工作状态不再由红外检测部分电路控制，而由相应的按键来控制电路的工作。

2. 电话主机部分

电话机内新增的接收解码部分电路如图2（a）所示，主要由高频接收解码模块和单片机89C2051为主构成。高频接收解码模块负责接收红外探头受到触发报警时发射的高频信号，也接收遥控器发射的报警功能开启、关闭的高频信号。通过其处理后在相应的控制引脚输出高电平指示信号。单片机89C2051与接收模块的各功能指示端口相连的引脚检测到高电平出现后，通过内部的程序判断需要执行的操作，并按照程序设计完成相应的功能操作。程序流程图如图3所示。

需要开启报警功能时，按下配套遥控器的相应按键，遥控器发射含有相应编码信息的高频信号，主机内部的接收模块接收到后，经过解调、解码后在报警功能开启数据端口D1输出相应的高电平信号，此信号直接输入到单片机89C2051的端口P1.5，在检测到报警功能开启信号后，经过内部程序的处理，单片机的P3.7端口在

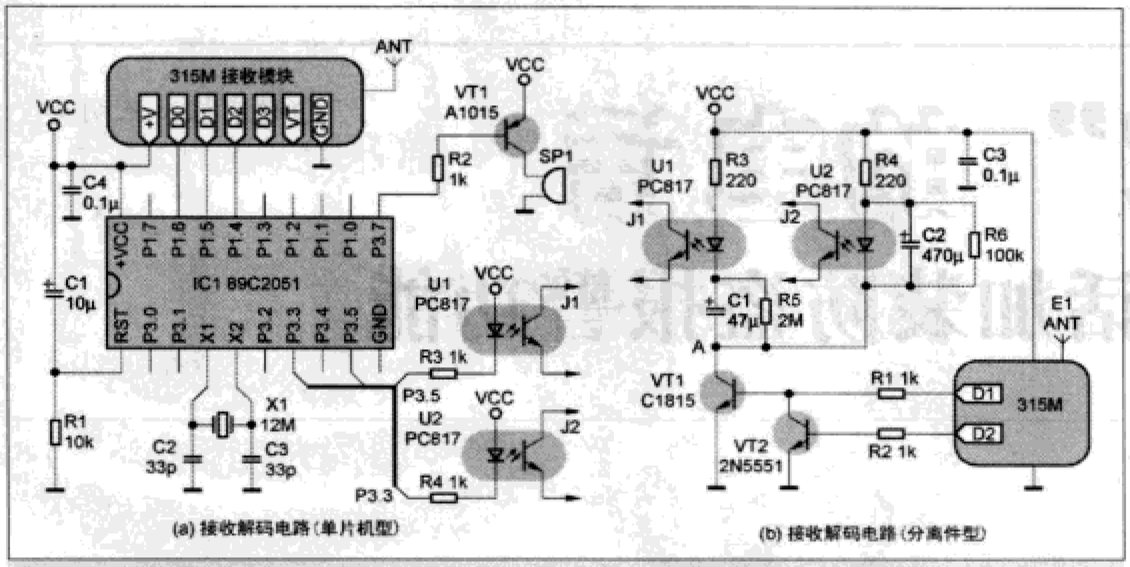


图2 接收解码部分电路

近3min的时间内间歇输出低电平信号，通过VT1驱动蜂鸣器SP1间断地发出“嘀—嘀—”的提示音，提示报警监控功能已开启，需要在3min内尽快离开红外探头的监控区域，在这3min里红外探头被触发后形成的报警触发信号将不被执行。3min过后，程序结束提示状态，进入报警触发信号检测状态，主要检测接收模块的报警信号输出端口和报警功能关闭控制端口是否有高电平控制信号出现。如果红外探头受到人体触发，它发出的高频报警信号被接收模块接收后，在其相应输出端口呈现的高电平信号送入到单片机内部被检测到后，程序将会控制单片机的P3.5端口先输出约0.3s的短暂低电平信号，驱动光耦U1次级导通，并通过其短接主机的“电源”按键的两个触点，相当于人手短暂地按压一下“电源”键，然后P3.5端口恢复高电平并保持约0.3s。之后程序控制单片机的P3.3端口输出低电平驱动光耦U2次级导通约0.3s的时间，通过其短接“快捷拨号”按键的触点，主机便将其内部预存的报警电话号码拨出。程序设计中之所以在报警拨号前要首先“按”一下“电源键”，这是因为在报警监控模式下，如果外部线路打进电话或发送信息的话，一般电话在无人接听或查看信息的情况下会始终保持显示未接电话或未查看信息的状态，在这种状态下，直接按单键拨号键是无法向外拨打电话的，只有退出这种状态才可以，而短暂地触按一下“电源”按键，就可以从这种状态下退出来。完成报警电话的拨打后，程序进入近5min的“保护”状态，对其各端口的触发信号均不检测、响应。主要是为了避免红外探头监控区域活动人员对红外探头连续触发造成的短时间内连续挂机、拨打报警电话，影响报警电话接听后的监听。大约5min后，程序重新进入报警触发信号和报警功能关闭信号的检测状态，如再一次检测到报警触发信号，则将再次拨打报警电话报警。如果在报警功能关闭端口检测到高电平信号，则程序控制P3.7端口为低电平，驱动蜂鸣器响6次，提示报警功能已解除，并且对输入的报警触发信号不再响应，而进入到检测是否有报警功能开启信号的“待机”状态。在程序设计时，为了避免外界干扰信号造成电路的误动作，对于报警功能开启、关闭、触发信号程序均经过双重确认，即程序在第一次检测到控制信号出现后，并不是马上执行相应的操作，而均是延时0.5s（报警功能关闭判断延时2s）的时间，再次检测确认后才执行相应的操作，这样使电路的抗干扰能力大大提高！

如果对于单片机电路比较陌生，则可以采用由普通晶体三极管加阻容元件构成的电路，如图2（b）所示，红外探头发出的报警高频信号被315MHz接收模块的接收天线E1接收后，经过其内部电路的处理后在数据引脚D1端输出高电平控制信号，经过电阻R1驱动晶体管VT1饱和导通，此时电源通过电阻R3、光耦U1的初级侧给电容C1充电，充电电流使光耦的次级光电管侧呈现饱和导通状态，而其两极分别与无线座机的“电源”按键的两个触点相连，随着电容C1两端电压的升高，充电电流逐渐减小，光耦退出饱和导通状态，这就相当于人为地短暂触按了一下“电源”按键。晶体管VT1饱和导通时，电源在给电容C1充电的同时也通过电阻R4给电容C2充电，随着电容C2两端的电压不断升高，光耦U2次级的光敏管侧导通饱和，而其两极是与电话的“单键拨号”键的两个触点相连接的。利用此光耦模仿人触按了一下“单键拨号”键，电话便可以拨打预先储存的“单键拨号”的电话号码报警。这样，便可以利用由晶体三极管控制阻容元件的简单延时电路，实现与上述单片机电路类似的，在报警触发信号的控制下，先短暂地“按”一下“电源”按键，稍后再“按”一下“单键

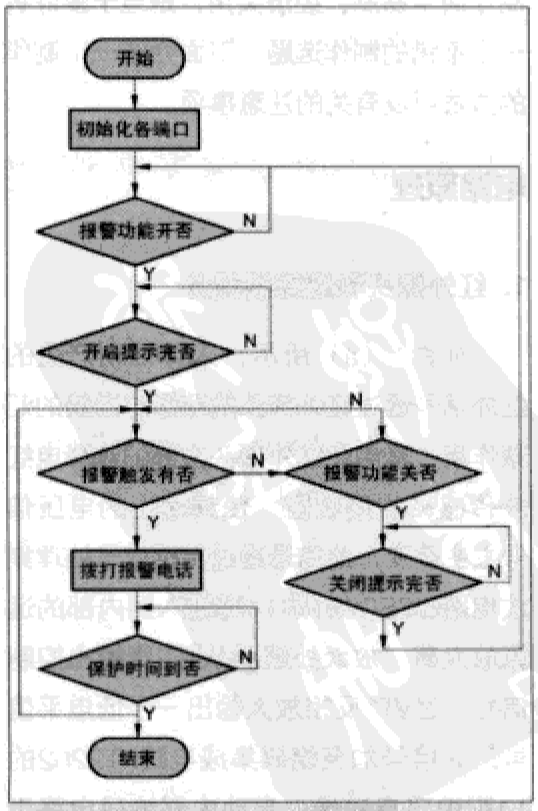


图3 报警流程

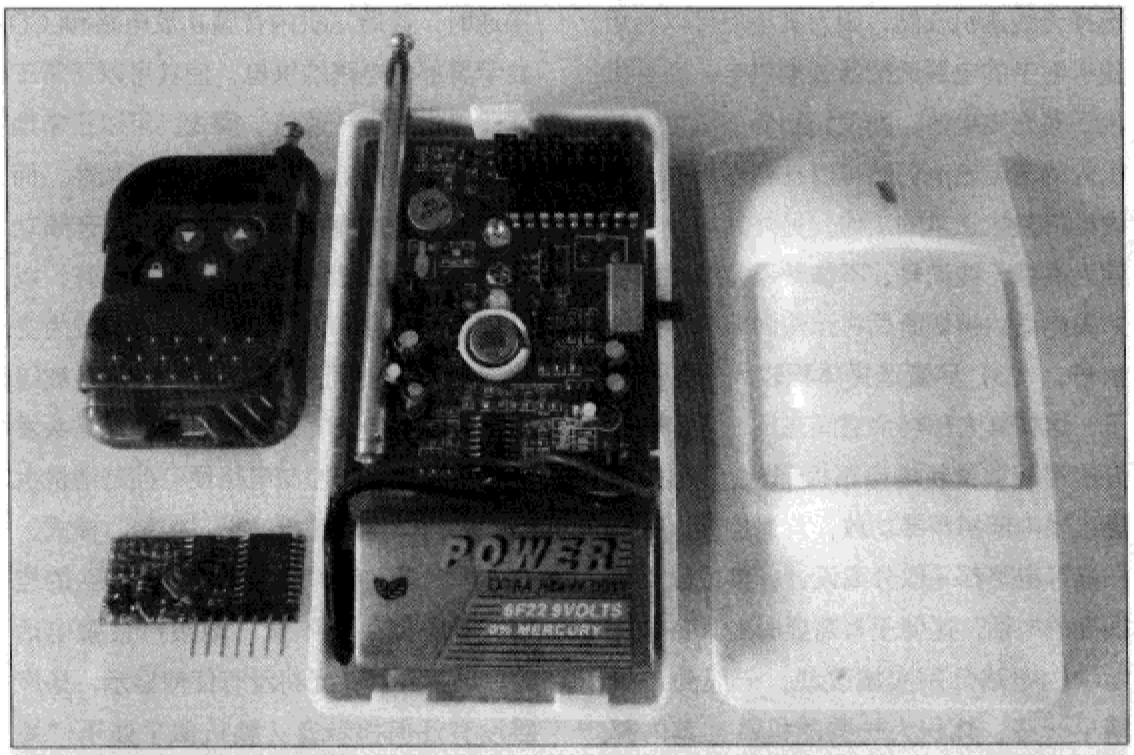


图4 无线报警红外探头和遥控器

拨号”键的功能。图2（b）中电阻R3、R4的作用是限制流过光耦U1、U2的最大电流。电阻R5、R6的作用是当没有报警信号晶体管VT1恢复截止状态时，为电容C1、C2上储存的电荷提供适当的释放通道，使其可回到初始状态，为电路的再次触发做好准备。图2（b）中电阻R3、R4、R5、R6和电容C1、C2数值的选取需要恰当，根据无线座机按键扫描电路的特点，并考虑到实际应用时的具体情况，需要满足以下几点：（1）保证报警控制信号使晶体管VT1进入饱和导通状态时，光耦U1先导通一定的时间后关闭，模仿人手短暂地“按”一下“电源”键的功能，目的是清除电话机可能存在的“未接来电”、“短信”等状态，为后面的拨号做准备。光耦U1进入关闭状态一段时间后，光耦U2进入导通状态，模仿人手触按“单键拨号”键拨号。（2）光耦U1、U2导通的时间长短及次序需要适当，光耦U1导通的时间过短将会导致无线座机的键盘扫描电路无法识别按键信号，导通的时间过长将会使其未退出导通状态时U2就已经导通，造成两者的导通时间段重合，同样造成无线座机无法准确识别按键信号。（3）泄放电阻R5的阻值不宜过小，否则当VT1在间隔较短的连续触发信号的作用下饱和导通时，将会反复给电容C1充电，形成的充电电流导致光耦U1短时间内多次导通，从而使正在向外拨打的报警电话中途挂机退出，使接收方无法完整地接听报警电话的内容。考虑到一般的报警只需要拨打一次报警电话，所以可以将R5的阻值取得稍微大些，使U1再次导通的时间在5min左右即可。泄放电阻R6的阻值不宜过大，否则当VT1在间隔5min以后的触发信号的作用下饱和导通时，因为C2上的电荷没有能够及时泄放掉，而使其再次充电会导致电压上升过快，使U2在U1未退出导通状态情况下提前进入导通状态，造成无线座机无法识别按键信号。（4）电阻R3、R4限制流过光耦U1、U2的最大充电电流，同时还与电容C1、C2组成适当的RC微分、积分电路以获得U1、U2导通所需要的正确时序。图中电阻电容的数值大小是通过计算和反复试验最终确定的数值，需要的话可以依照以上原则进行调整。图中VT2的作用是切断由红外探头触发所造成的接收模块D1端口输出的高电平报警触发控制信号。这样在报警系统布防和撤防时，只要提前按住遥控器的“防误报”按键（即和接收模块的D0数据端口对应的按键），其发射的高频遥控信号被接收模块接收处理后在端口D0输出高电平的控制信号，驱动VT2提前饱和导通，将随后由D1端口经过电阻R2输出的报警信号接地，就可以避免VT1进入饱和状态启动机内电路拨打报警电话。

材料选取

为了降低制作的难度，提高作品的成功率和保证性能，本报警系统的制作中红外探头和电话机部分都采用优质市售成品。由于需要两者在收发频率等方面良好的配合工作，因此具体选取时需要注意各部分电路的相关参数之间的良好配合，否则将会导致需要对购买到的配件进行大量的改动工作或导致配件无法配合使用。

1. 红外探头、遥控器和接收模块的选取

红外探头、遥控器和接收模块的选取要注意它们的高频收发频率（一般常用的有315MHz和433MHz两种）、调制解调方式、数据调制解调振荡电阻等几项参数都要相匹配，否则会造成电路无法工作或需要改动相应的电路才可以。

本制作采用的无线报警红外探头，如图4中、右所示，其内部采用高性能的传感信号处理集成电路BISS0001完成信号的处理，自带PT2262编码及315MHz无线发射电路，只需要对其编码地址插针进行适当的设置，并利用与其匹配的315MHz接收模块接收，就可以很好地解决整个制作中高频无线信号收发的问题。

遥控器选取一常见的市售四键遥控器，如图4左上所示，其高频发射频率和数据编码方式、数据振荡电阻等方面都和红外探头的电路一致，从而同样保证了和接收模块各方面参数的良好匹配。

接收模块采用市售成品模块，这样可以大大降低高频部分制作调试的难度，在要注意高频收发频率等参数与红外探头

和遥控器良好匹配的情况下，选择模块时还要注意以下几点：（1）模块的工作电压要和无线座机采用的电源电压一致或尽量接近，这样可以较好地保证红外探头能够与无线座机进行可靠通信的有效收发距离。因为无线座机的充电电池标称电压虽然为3.6V，但是在用电源适配器为其长期供电的情况下，充电电池的两端一般均维持在4.2V左右的电池最高充电电压。就算是切断电源适配器的供电，电池也可以在较长的时间内维持3.8V以上的输出电压。本制作采用的接收模块（如图4左下所示）的标称电压为5V，但是实际试验发现，在用4.2V的电压为其供电时，接收灵敏度基本不变，电源降到3.8V时仍然可以正常工作，只是可靠通信的距离相应缩短一些。而试验标称工作电压5V的超外差式接收模块，大部分在电压刚降至4V左右时就不能正常工作。所以本制作中不宜选取虽然灵敏度等指标较高，但对工作电压要求比较高的超外差式高频接收模块。（2）接收模块最好自带解码电路，可以大大降低电路制作的复杂程度。解码电路的芯片PT2272的数据输出端根据其后缀的不同主要分为暂存式（其后缀为M，发射端的高电平信号出现和消失时，PT2272对应数据位的高电平也随之出现和消失）、锁存式（其后缀为L，发射端的高电平信号消失时，PT2272的相应数据位输出仍保持原来的电平状态，直到再一次接收相应的触发信号，其电平状态才发生改变），本制作中根据电路特点选取暂存式的PT2272M。

2. 无线座机的选取

选择改制的电话时需要注意以下几个方面：（1）因为本制作为了降低改制难度，没有设置拨号号码存储电路，所以选择的电话机必须具备本制作中最为需要的“单键（快捷）拨号”功能（有些型号的电话机进行单键拨号时，需要先提起话筒后再按单键拨号键才可以，这种机型不适合改制）。（2）选择电话主机时，最好选择无线座机改制，因为其不但可以利用随机附带的电源适配器长期供电，而且机内还有充电电池，即使切断外部供电，其机内的充电电池仍然可以在相当长的时间内维持整机正常的工作。另外其与外部通信为高频无线信号，不像普通有线电话，如果电话线被切断后将无法向外拨打报警信号。（3）尽量选择体积较大一些的机子，这样其内部剩余空间充足，可以有充分的空间放置新增电路板部分。（4）尽量选择内部扬声器功放、背光控制、按键扫描等电路都采取分离设计、集成度不是很高的电话，这便于有需要时对其各个功能块的电路分别实施改动。一般生产日期早一些、体积大一些的机器，其内部电路集成度要相对小一些。本制作选取的“PANDA PTF61”无线座机就很好地满足了以上的制作要求。其实际改制电路如图5所示，图中虚线框内为新增加的电路部分，由图可见，报警信号处理部分采用了便于制作的分立元件模式。图中S1为工作模式转换开关，当其与下方的触点接通时，接通了机内音频功放电路和LCD显示屏部分电路的供电，使其可以正常工作，整机处于“通信”模式，可以正常地实现原机接打电话、收发短信等功能。而当其与上方的触点接通时，机内音频功放电路和LCD显示屏的电源将被断开，以高频接收模块和U1、U2、VT1、VT2为主构成的报警信号处理电路的供电将被接通。这样，当接收到遥控器和红外探头发射的高频信号，控制电路便可控制话机执行相应的操作，整机处于“报警”模式。在此模式下话机内部电路受红外探头的控制“神不知，鬼不觉”地拨打报警电话时，屏幕及其背光将没有任何显示，扬声器没有任何提示音，整机似乎处于“关机”状态。大大提高整机报警时的隐蔽性！如果对于隐蔽性没有要求，可以取消背光、音频功放电路的改制工作，这样整个制作将会更加简单！因为本机的显示屏和其背光供电是由GSM模块内部输出的2.8V电源供给，而且背光电路对电源的电压波动非常敏感。为了电路工作切换模式

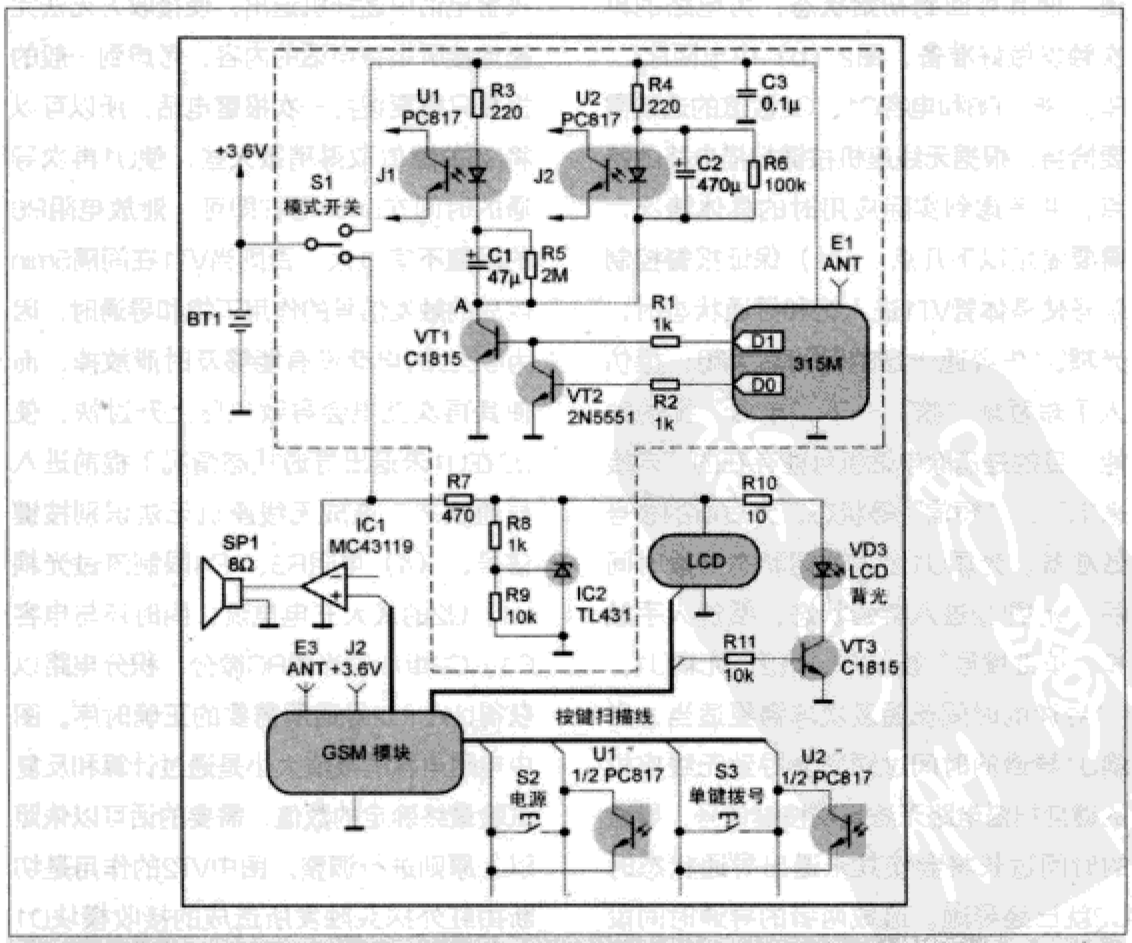


图5 改制电路

切换的方便，将其电源供应改为由3.6V主电源提供，为此增设了2.8V稳压电路，考虑到稳压电路输入、输出端的压差较小，所以选择了由可调节精密并联稳压集成电路TL431和电阻R7、R8、R9组成的2.8V并联分流型稳压电路。因为显示屏部分电路消耗的电流很小，背光亮时总电流约0.5mA，所以为了降低功耗，稳压电路的静态电流取得较小，比TL431规定的1mA最小阴极电流大一点，约2mA。

3. 新增元器件的选取

因为本制作的使用目的是监控报警，考虑到长期工作的可靠性，为确保万无一失，各元件选取严格把关，全部采用优质正品原件。

工作模式转换开关S1选择单刀双掷型开关，质量一定要好，因为其关系到整个制作完成后长期使用的稳定性、安全性。本制作选用了可以直接焊接在电路板上的开关，做工和操作手感都非常好。

光耦U1、U2本制作没有选择专用的开关型光耦，而是选择了常用的PC817线性光耦，完全可以满足需要。

VT2选用了饱和导通压降较小的2N5551型三极管，也可以用其他饱和导通压降较小的管型替代。

制作方法

1. 无线收发电路制作

因为无线红外探头和遥控器都选用市售成品，所以制作中只需要对其编码部分的地址码（一般是8位）和数据码（一般是4位）进行与接收模块的解码地址码和数据码相匹配的设置即可。具体设置时，红外探头的地址码和数据码设置一般都是利用内部附带的配套插针插在相应的地址位来完成，而遥控器和315MHz接收模块的地址码和数据码的设置一般都是通过改变其地址码设置焊点的焊接状态来设置的。另外，还要检查红外探头和遥控器的编码振荡电阻与接收模块的解码振荡电阻的阻值是否匹配，如果不匹配就需要对接收或发射部分的任意一方的电阻参照有关资料进行更换，使其与另一方的电阻匹配。否则将会造成制作完毕后无法正常接收解码，探头失去对主机的控制功能。

2. 新增加电路部分制作

因为新增加的元件比较多，所以特别制作一块电路板（见图6上部），注意315MHz接收模块与电路板上的其他元件之间保持适当（2~10mm）的距离，避免元件对315MHz接收模块的正常工作造成影响，而且新增电路板上的各种连线尽量远离接收模块的接收天线。电路板上的元件焊接完毕后，不要急着连接无线座机主电路板，可以先用可调电源调至4.2V后给新增电路板供电，测试TL431稳压部分的输出电压是否是2.8V以及新增电路的高频接收解码电路的功能是否正常，测试正常后再进行新增电路板与无线座机主电路板之间的连接。新增加的电路板在无线座机内的放置位置要方便工作模式转换开关的安装，同时一定要注意保证使接收模块的接收天线尽量远离机内其他金属和导线等部件，并尽量靠近座机的边缘部分，以便于其对无线信号的接收，避免不正确的安装位置使红外探头的有效控制距离变近，如图6所示。

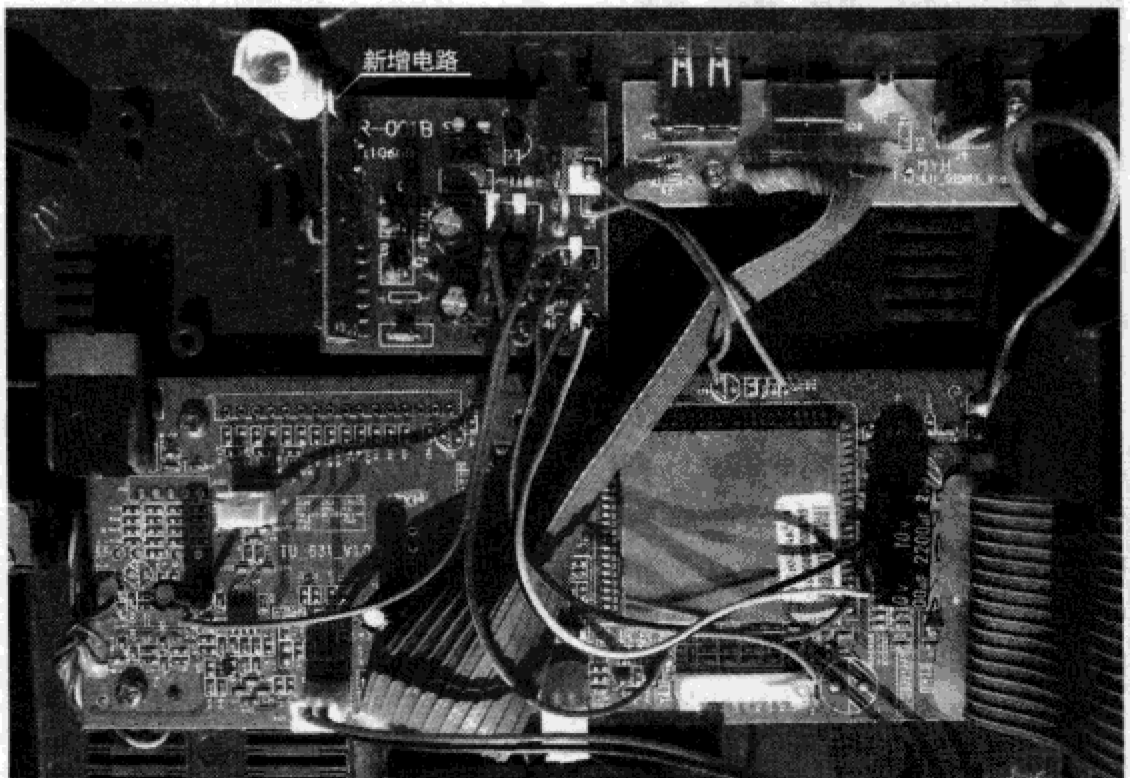


图6 在电话机中新增的报警电路

3. 电路连线

在进行电路连线之前一定要先关机，拔掉电源适配器的供电插头，并且将机内充电电池的供电切断，然后按照电路需要进行连线。连接光耦次级的引线时，其集电极端连接到相应按键的电位比较高的引脚上。特别需要提醒的是，在进行连线之前首先要熟悉无线座机主电路板上的各个连接点，因为主电路采取贴片元件，体积很小、间距很近，所以一定要细心，避免操作错误，损坏机内的线路！而且机内新增连线要尽量短，并尽量远离机内的高频发射电路和天线部分，避免受到过强的高频信号干扰。

4. 电路调试

电路焊接完毕，合上无线座机的外壳，打开底部的仓盖，分别插上手机SIM卡和机内充电电池的插头。将模式转换开关S1拨到通信模式，按住无线座机上面的红色电源开关按键，打开无线座机的电

源，此时应显示开机动画、屏幕背光亮，扬声器里也应该出现开机音乐。开机完成后，可以试拨一电话，测试无线座机的通话功能。通信功能测试正常后，按照无线座机的使用说明书的提示，将报警时需要拨打的电话号码存储到与拨号光耦控制的按键对应的单键拨号号码的位置。然后将模式开关S1拨到报警模式，此时屏幕的背光和显示内容应该全部消失，拨打无线座机内SIM卡的手机号码，无线座机不应该有来电铃声、背光显示、屏幕显示等来电提示信息。将红外探头与无线座机保持一定的距离并用手触发它，大约5s后，设定的报警号码应该接收到无线座机拨打来的报警电话。至此，整个电路的制作调试工作就全部完成。通过试验，本制作中采用的红外探头和315MHz接收模块配合在非空阔地的稳定接收距离在30m左右，足够一般场合的应用要求。

注意事项

1. 红外探头与无线座机采用无线连接方式时，如需增加红外探头的数量，只需要将同型号的红外探头的地址码、数据码设置成与接收模块相同的设置即可，红外探头扩展路数的多少可以说是没有限制的。如需门窗位移、温度、煤气、声音、振动等其他形式的报警检测，只需要更换成相应监测形式的，与无线座机内部的高频接收解码电路配套的报警探头即可。

2. 本制作本着简单实用的原则，电路报警时只拨打一路报警电话号码。如需实现轮流拨打多个报警电话的功能，可增加电路中控制拨打报警号码的光耦，并适当地修改程序，使单片机驱动光耦，控制无线座机其他剩余的快捷拨号键拨打报警电话，实现多个报警电话号码的轮流拨打。如需其他（例如驱动继电器控制外部电器工作）等功能，同样只要适当增加硬件电路并对程序加以适当的修改即可。

3. 本制作以无线座机为改制对象进行，如果需要对普通有线电话座机进行改制，只要参考以上内容进行即可，当然因为一般有线电话话机内部电路的供电取自电话线路，而电话线路虽然在电话“摘机”状态下可以提供10~20mA的电流供应，但是在电话“待机”状态下能提供的电流很小，在不影响电话“待机”状态的情况下一般最大也才有2~3mA，无法满足整个新增报警电路的电源需求，所以需要新增外部电源适配器，利用交流电网获得适当的直流电源为报警电路供电。这种状态下如果要想避免出现交流适配器的供电被切断时报警电路不能正常工作的现象，一般就需要增加充电电池供电电路（如话机内自带干电池或充电电池的可以直接加以利用，此时应该处理好新增电源适配器供电与机内电池供电两者之间的配合关系）。

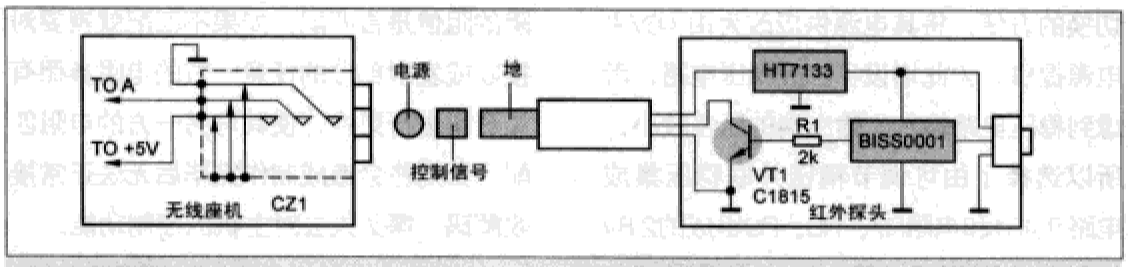


图7 更简单的报警电路

4. 报警控制信号处理电路采用分立元件方式时，电容C1、C2，电阻R2、R3、R4、R5的数值选取一定要精确，参见图2（b）。因为它们的数值确定了整个电路输出控制信号的时序，而且其数值之间互相影响，所以不要随便更改。制作时选取元件的数值精度要有保证，否则将会导致电路无法正常工作！

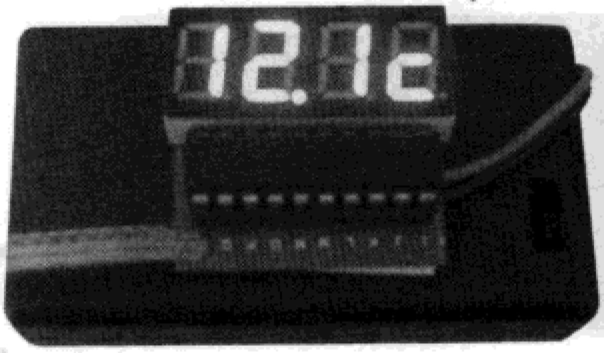
5. 除了上面介绍的由单片机或分离元件构成的两种控制电路之外，笔者在最初也曾采用过电路更简单的方法（如图7所示），只是可能是话机对外通信收发信号时的高频脉冲信号干扰红外探头检测电路的原因，出现过误报警的情况，所以仅供读者参考改进选用。由图可知，将红外探头检测到人体活动后输出的控制信号（可取自BISS0001控制信号输出至缓冲放大三极管VT1的集电极），直接用双芯屏蔽电缆连接到双芯插头，在无线座机内取消315MHz接收部分的电路，而新增双芯插座，通过插座的引线将由插头输送来的控制信号线直接连接到电路图2（b）中的A点，而去除图中相应高频接收模块部分电路即可。这样红外探头输出的控制信号就可以通过电缆直接控制无线座机内部的报警电路。这种方案的优点是电路更简单，红外探头不需要再额外装配电池供电，而由电缆通过无线座机直接取得供电电源，如果调试得当，解决误报问题，也是不错的选择。只是因为话机新增的双芯插座兼有为红外探头输出电源的任务，所以选取插座以及安排插头的各触点的连线功能时，要注意避免红外探头的电缆插头插入或拔出插座的过程中因插头触点在插座内的滑动与插座簧片的移位造成无线座机为其提供的电源对地形成短路的现象，避免话机电路烧毁的“杯具”。

笔者按照本文介绍的制作方法先后为自己及亲戚朋友制作了近20余台使用，除了开始时因为将红外探头安装在室外受小鸟干扰造成几次误报外，工作近一年多来全部稳定正常，表现令人非常满意！平时可以用其方便地接打电话、收发短信，而当需要外出，家中无人照看时，将其设置为报警状态，它便会忠实认真地为您“看家”！只要把报警号码设置为您随身携带手机的号码，即使离家万里，家中情况也尽在“掌”握，让你可以在外安心工作、尽情游玩，相信它也会成为你美好生活的一个得力助手。

对此制作感兴趣的读者可到本刊网站www.radio.com.cn下载相关程序。

◇王千涛

4个元件做成的数字温度计



我用单片机制作了一个数字温度计，总共只用了4个元件（见图1），可以算是使用元件极少的一个制作了，测温范围为-55~125℃，简单好用。电路原理如图2所示。

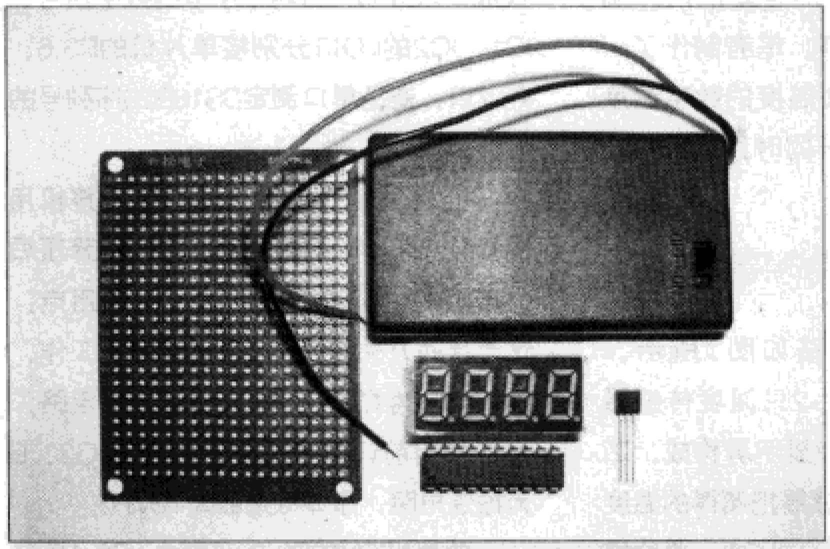


图1 所需元器件

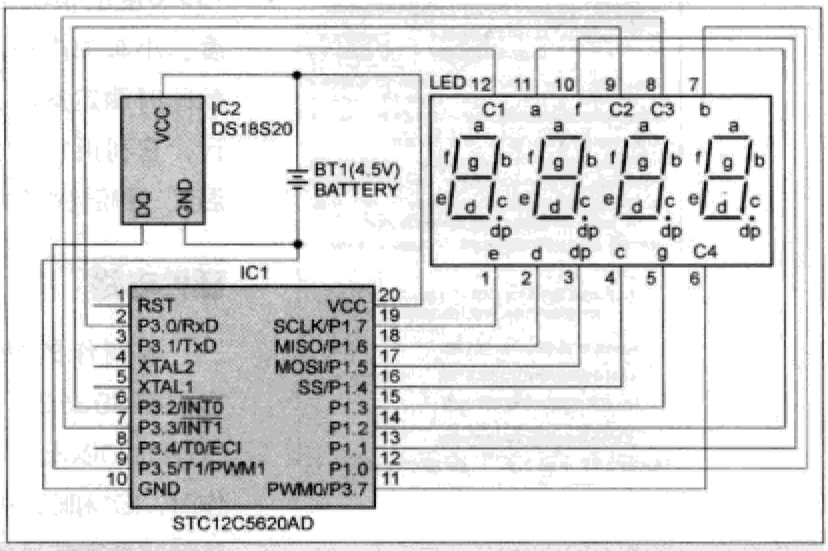
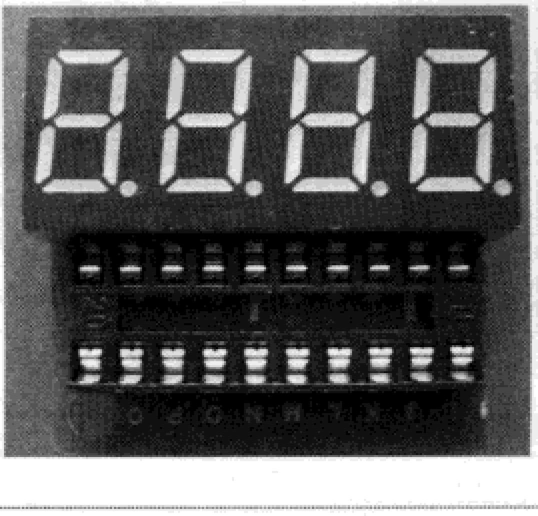


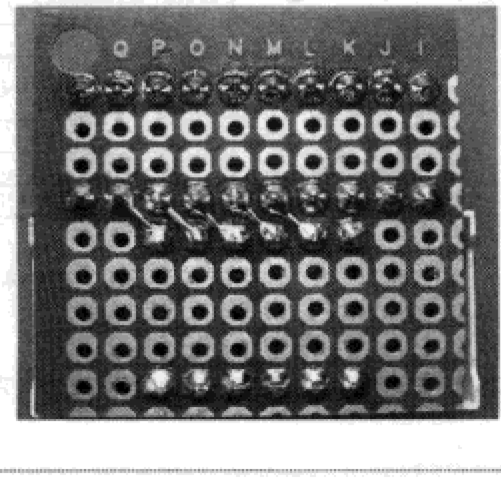
图2 电路原理图

为了尽量减小体积，方便随时移动测量，我尽可能地将整个温度计做得很小，采用的是20脚的MCU，并且使用MCU内部的振荡器工作，数码管用的是0.36英寸的4位共阳数码管，由MCU的输出脚工作于推挽方式来点亮数码管，温度探头用很长的线进行连接，方便测量不同环境的温度。具体制作方法如下：

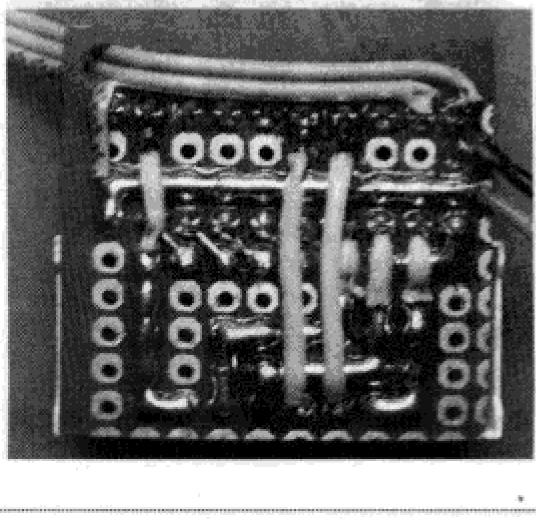
1 将MCU座和数码管焊接在洞洞板上。



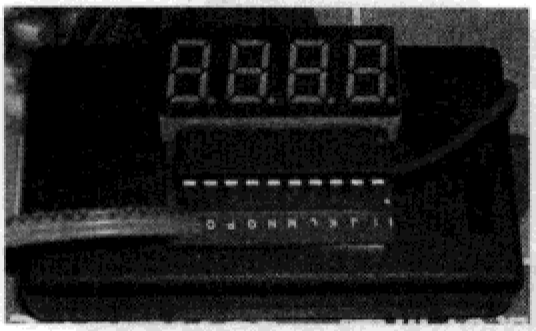
2 用很短的导线将MCU座与数码管相邻的焊点连接起来，我是用剪下来的器件引脚连接的。



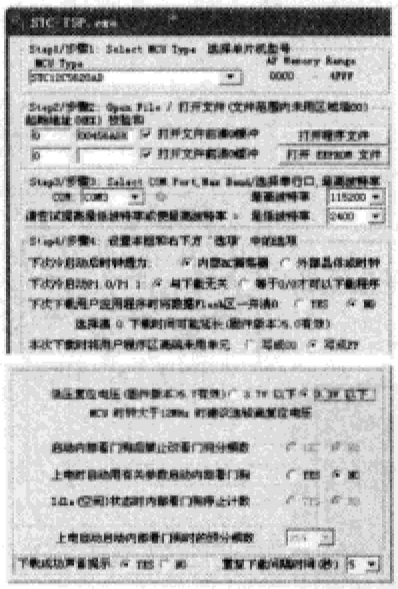
3 再将其余的连接处用飞线的方式连接起来。



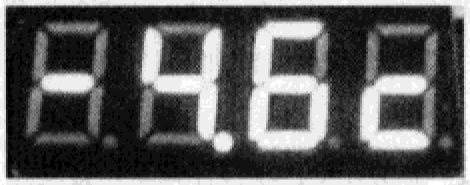
4 最后用双面胶将制作好的线路板贴在电池盒上。



5 下载单片机程序时一定要选择“内部RC振荡器”，并且选择“3.3V以下低压复位电压”，这样可以使电池使用时间更长。



制作完成后的各种显示情况如下图所示



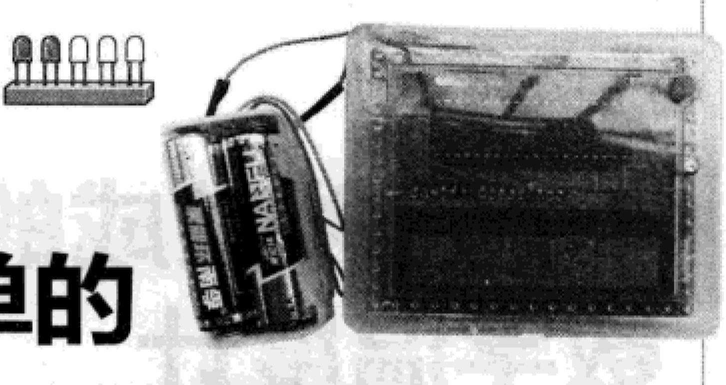
显示负几度时，最后一位显示c代表℃

显示正几度时，第一位消隐不显示，最后一位显示C代表℃

经过长时间使用，此电路工作正常，测温迅速可靠，方便实用。

■ 本制作所需单片机程序可到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn上下载。

◇俞虹



一款简单的室内外双显温度计

我们生活中经常遇到需要测量两种温度的情况，比如测居室的内外温度、小车的内外温度等。笔者制作了一款同时测定室内、室外温度的数字温度计，它利用1602显示屏同时显示室内外温度，测温快速、直观。

硬件电路

本制作的硬件电路如图1所示。它由AT89S52单片机，2只温度传感器DS18B20以及LCD1602显示屏构成。工作时，IC1和IC2中的传感器把测得的温度转换成数字信号传到单片机IC3，单片机通过数值转换后，再调用相应的显示程序驱动显示器件IC4，把温度值显示出来。IC1、IC2中的两个传感器将室内外温度转换成十六进制，占两个字节的数字信号。IC1、IC2的I/O口分别接单片机的P3.6、P3.7口，避免单口测定DS18B20序列号的麻烦。

电路采用6V的干电池供电，整机用电约15mA。电源电压经二极管VD降压后为电路提供5V的电压。为了节约用电，这里接有开关S，可以让电池间歇工作，延长电池寿命。C1和R1组成复位电路，每次使用前让单片机复位。C2、C3、B为振荡电路，晶体振荡器为12MHz。

单片机IC3的P3.2、P3.3、P3.4接口分别接IC4的RS、RW、E接口，由于这些接口用于定义寄存器、信号读写以及是否

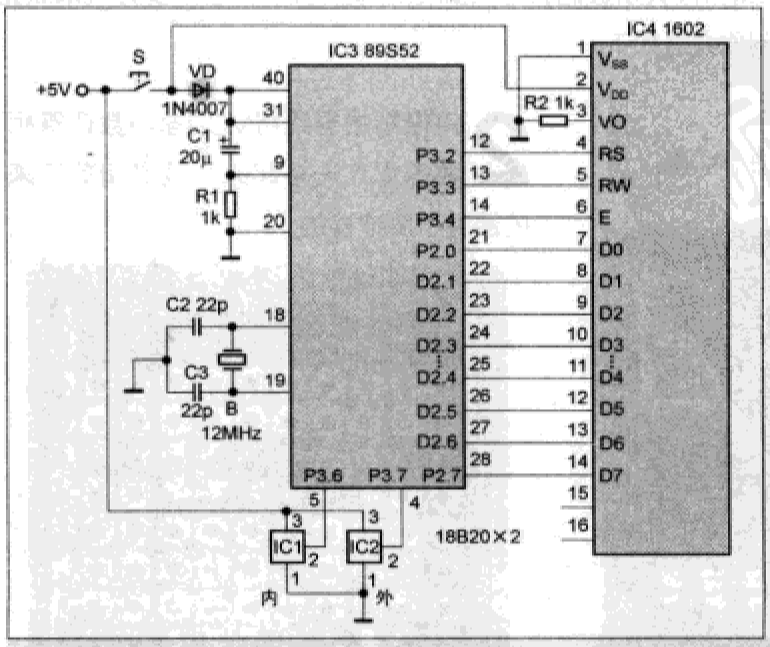


图1

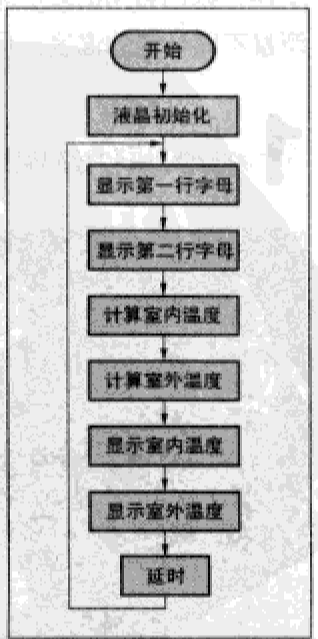


图2

执行指令等，故不能接错。单片机的数据接口P2.0～P2.7与IC4的D0～D7连接，主要用于传送显示的数据和各种指令。

软件设计

本电路用单片机的两个I/O口控制2个DS1820传感器。单片机对液晶屏1602进行初始化，并进行读写操作，最后将数据转换为十进制数送到显示屏显示出内外温度值。软件的主流程图如图2所示。为了稳定地显示温度值，显示字母（OUT、IN、℃）和温度（如+025.5℃）的程序独立执行，互相不干扰。因此，它调用的子程序相对较长。由于要显示两种温度，如DS18B20的初始化、精度设置、显示地址、读写等程序都要执行2次，子程序相对较多。只有16进制数转化为十进制数只执行一次。

由于1602字符库无“℃”的符号，作者对字符库中所有字符进行查找（包括英文字母大小写、常用符号、日文假名），发现其中日文假名中的一个符号很接近“℃”中的“°”，于是将那个符号加上“C”即成符号“℃”，这样就避免单独编程的麻烦。

该温度计设计精度为±0.5℃，分辨率在0.5℃，可以显示-55～+125℃的温度值。

硬件制作

图3为笔者制作好的电路板，采用万能板安装元器件。1602显示屏直接装在万能板上，这样可以减小软线的移动，使电路工作更可靠。元件之间的连接尽量用背面的铜箔连线，点与点之间可以用焊锡丝连接。焊接时烙铁的温度不要太高，否则不易连接成功，背面焊锡连线如图4所示。元件中，内温传感器IC1装在电路板的外侧，外温传感器IC2用1m长的不同颜色三绞线，一端焊在传感器DS18B20上，另一端焊在电路板上，并用热缩管套住DS1820防水，如图5所示。

安装单片机IC3需要先将一个40脚的双排底座焊在电路板上，这样便于烧写单片机时的插拔。开关S采用小型按钮开关，上面套上按钮套，这样开关更方便。

元件和连线焊接完成后，需要检查一遍，看焊接是否有错误，若无错误，通电即可工作，无需调试，通电后LCD1602显示的效果如图6所示。

如有条件，再找一个塑料外壳将电路板装入固定，塑料壳需要开一个开关孔，并且塑料壳靠传感器IC1的一侧再开一些小孔，便于DS18B20对环境温度的检测。装入塑料壳的双显温度计如题图所示。实际使用时，把室外传感器IC2装在窗外，不靠墙，并且阳光不会直射到的地方即可。

■ 本温度计的单片机程序可以到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载。

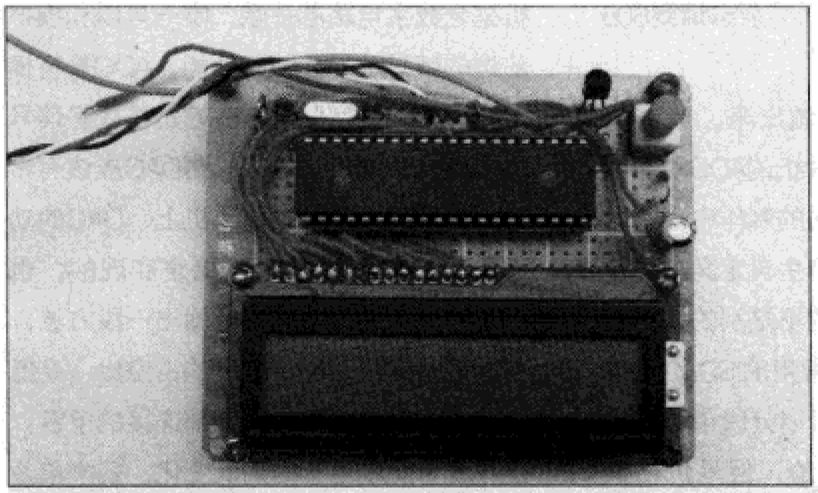


图3 制作好的电路正面

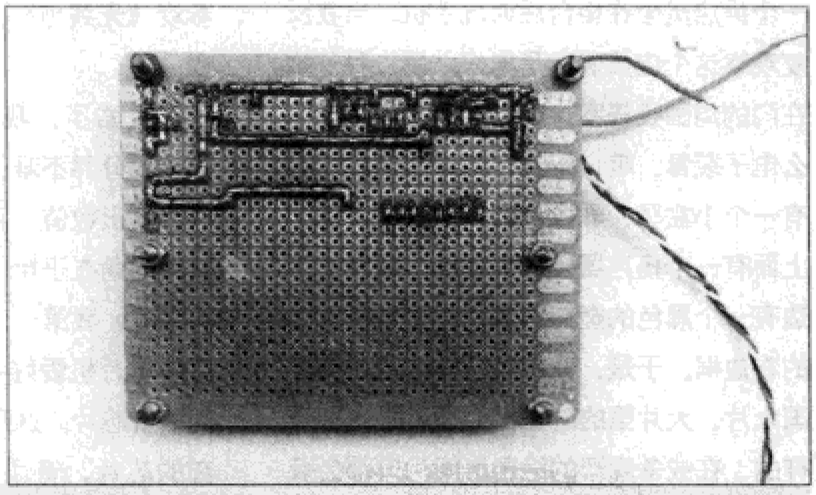


图4 制作好的电路背面

图5 用热缩管套住DS1820防水

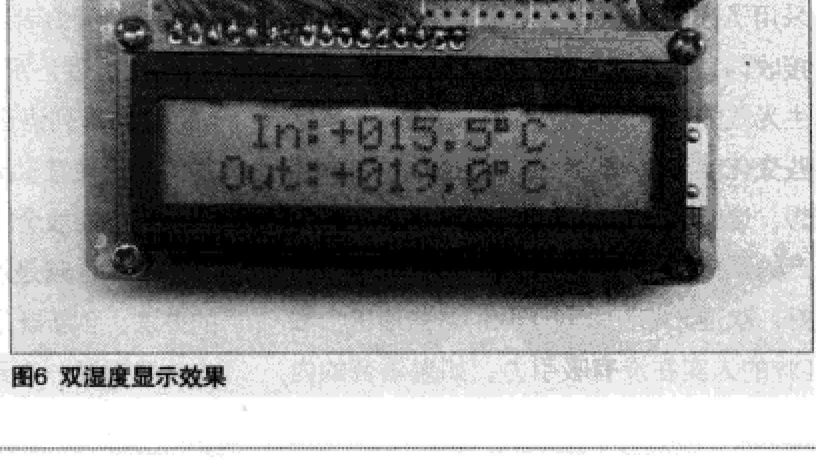
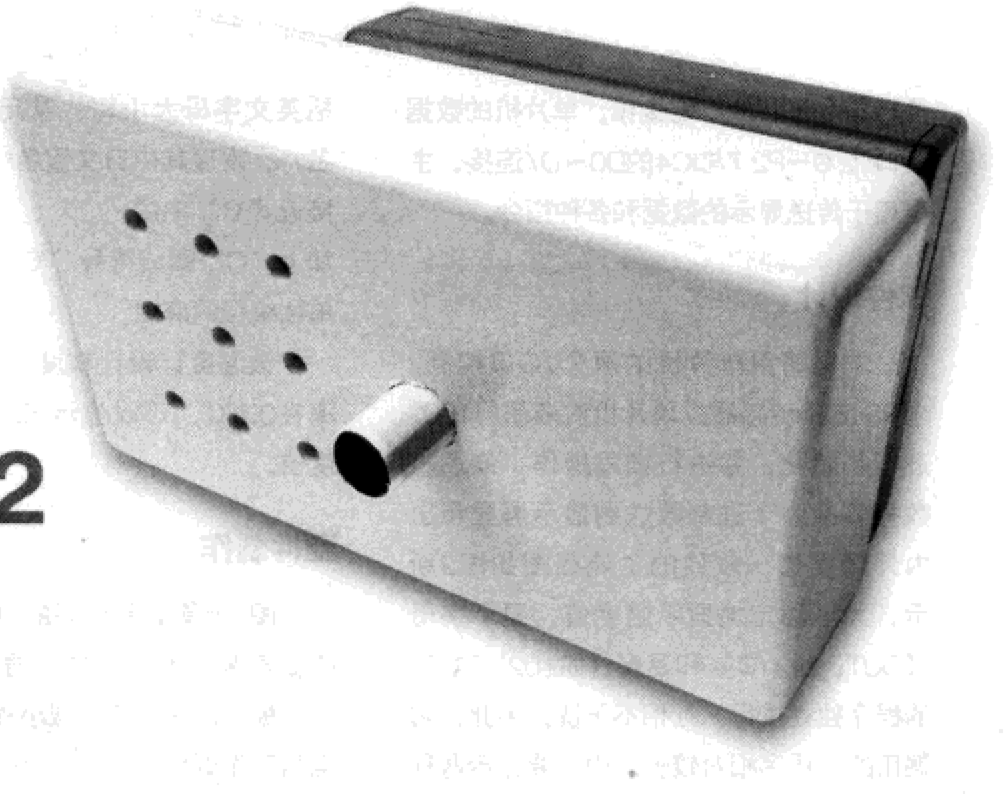


图6 双湿度显示效果

◇杜洋



不用语音芯片
制作SPEAKER32自定义语音盒子
——播放你的个性化声音

缘起

某天，当我走进一家小商店的门口，忽然一位姑娘温柔地对我说：“您好，欢迎光临。”我有些害羞，四周望望，只有一个男店员坐在柜台后面玩手机。当我反复观察这个店员确实是男人之后，我开始在门的周围找答案。如果不是人，必是什么电子装置，哦！果然在门口左侧的位置有一个小盒子，乳白色的，很可爱。盒子上面有一个扬声器模样的东西，扬声器下边有一个黑色的塑料圆管，直直地指着门的右边框。于是，我想起了曾经看过的美国大片，大片里的防盗器好像就是这种模样的，在戒备森严的绝密房间门口都会装有这种东西。门的一侧发出激光，另一侧接收。如果有人胆敢闯入，挡住了光线，就会忽然发出急迫的报警声。可我在门的另一侧并没有发现其他装置，很明显它是采用了被动式感光的原理。利用光敏电阻接收门口的光线，当有人进出时，就会产生光线的强弱变化，只要用单片机采集这些变化就可以触发产生语音播报了。我在想，这样的设置很有趣，只可惜是批量生产的死板之物，因为所有的语音都是“您好，欢迎光临”，对于我们这些追求个性DIY的人实在没有吸引力。如果语音的内容可以自己定义该多好呀。在我的工作室门口可以摆上一个，有客人进来就会说：“你好，欢迎来到杜洋工作室，进门请换拖鞋。”放在《无线电》杂志社门口，有读者来访就说：“亲爱的读者您好，欢迎参观《无线电》杂志社，买杂志请到605室。”

太酷了，我要把它做出来。光线采集的部分并不难，用单片机的ADC功能就可以读出数值，我在之前的制作中也有做过。问题在于用什么来产生自定义的语音内容呢？我第一个想到的不是别的，正是目前单片机爱好者中最常用的ISD4000系列语音芯片。这是一款可以分段录音和放音的芯片，音质还算清楚，但是价格很高，外围电路也很复杂。当年我在学习这款芯片的时候真是花了不少功夫，因为电路复杂，有时一点点小误差就会让电路不工作，现在想一想都头疼。真不希望后来的单片机爱好者还要浪费时间在这个芯片上面。不过，那又有什么办法呢？除了ISD4000系列语音芯片之外，好像就没有别的、更便宜、更好用的语音自定义方案了，总不能放个MP3播放器上去吧。

不过，越是没得选择，我越要想出新的办法。创新既是我的乐趣，也是我的工作。我需要一个元器件少、电路简单易制的新设计，不用语音芯片，最好可以用单片机直接发出声音。于是，我开始在单片机身上寻找创新的可能。

从原理上看，我们所要发出的语音实际上就是一个模拟数据的波形，而单片机是全数字电路芯片哦，唯一可以和模拟沾边的就是ADC和DAC功能。ADC是将模拟数据转成数字信号，DAC是将数字信号转成模拟量输出，这么一想DAC应该有希望。在我熟悉的STC单片机上，DAC的功能是通过PWM脉宽调制器来实现的。也就是在一个接口上高速地输出一段方波，用户可以编程来控制方波的占空比（高低电平的宽窄），再通过外部连接的电容，让方波平滑成电压的高低变化。初学单片机的朋友听了这段原理的分析可能有点晕，没关系，不知道蛋糕如何生产，也不会耽误我们吃蛋糕，只要能制作出来就行呀。于是我开始制作，按照心里所想的电路制作完成之后，我发现我远还没有成功，因为我忘记了录音的问题。

是呀，语音盒子可以播放我们自己个性的声音，可是还有一个大大的前提就是——先要录音。怎么录呀，在单片机的ADC上接一个话筒，写一段程序读ADC的语音数值，保存在单片机中，这是最容易想到的录音方案。可是这不还是要加上话

筒和一大堆音频放大、滤波电路吗？这和采用ISD4000系列语音芯片又有什么区别了呢？没关系，越是没得选择，我越要想出新的办法。创新即是我的乐趣，也是我的工作。

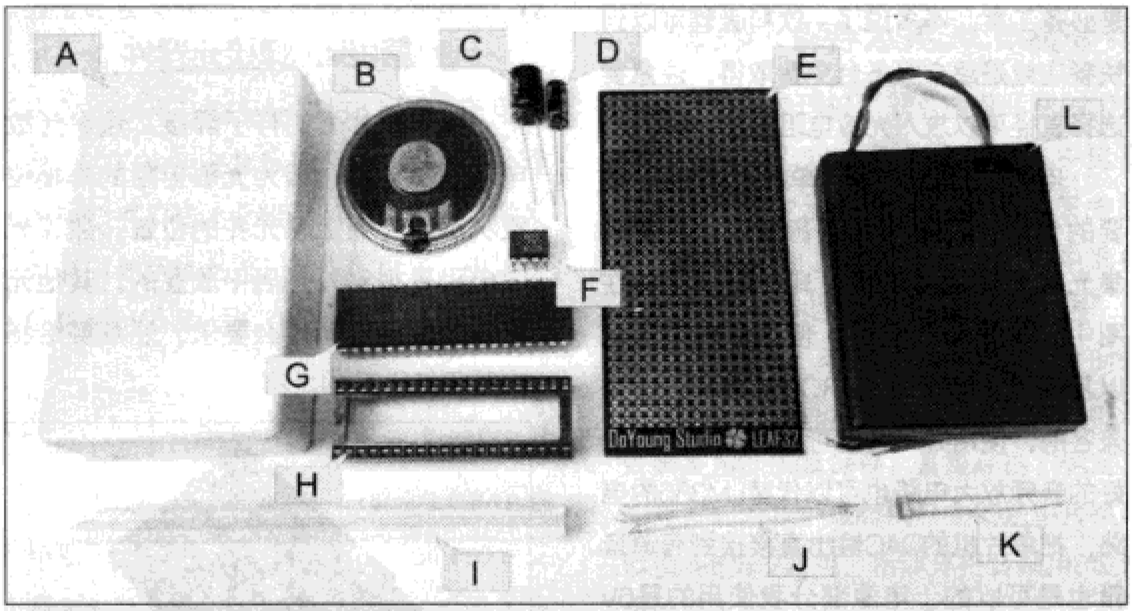
不接话筒电路能不能录音？坐在办公桌前，一抬头，看到了我新买的专业级电容话筒了。我用它来录制教学视频，也在性情大发时用它高歌。可不可以在电脑上录音，再利用电脑上的专业音频处理软件把录好的音频处理成十六进制的数据，通过编程下载到单片机中。这样既可以省去录音电路的制作，又可以让我们有更大的发挥空间。因为我们不仅可以录入我们自己的声音，还可以把一些网上找到的歌曲、彩铃什么的下载进去。

录音问题解决了，接下来又有了音量过小的问题。DAC的接口直接连接了一个小扬声器，当我把语音录好，下载到单片机后，我成功了，扬声器发出了微弱的声音。于是我马上取下扬声器，换上我家客厅里的家庭影院音响，音量问题立马解决了。看来我需要一个音频放大电路，这个部分对我并不陌生，正在连载的《面包板入门电子制作》的盒子里就有LM386音频功率放大芯片，照着经典的放大电路图接到DAC输出端就大功告成了。经过一段时间的使用和改进，触发播音的稳定性和效果都有所提升。最后，我给这个新装置取名——SPEAKER32自定义语音盒子。

制作

SPEAKER32自定义语音盒子所用的元器件非常少，甚至为了进一步简化，我把一些经典电路也做了改进，最后减到不能再减的程度。虽然电路很简单，但也不能大意，要严格按文章中的步骤制作。如果遇见问题，就反复再看几遍文章，应该就可以解决了。

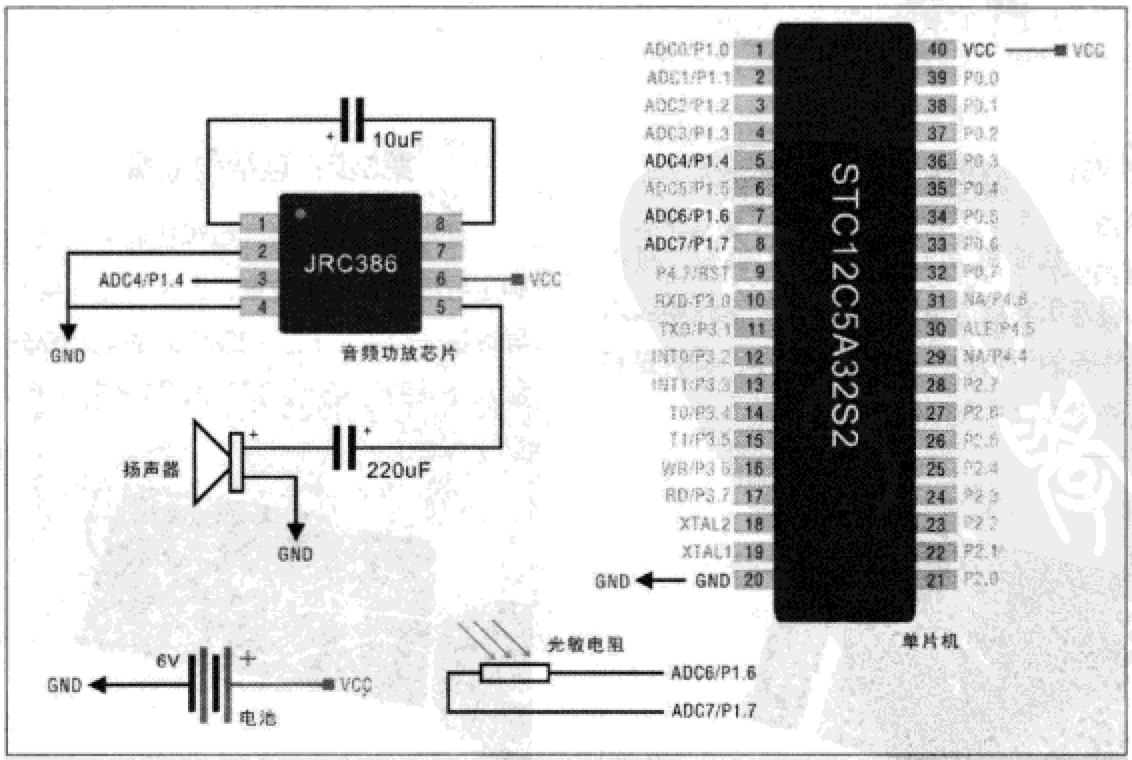
除了以上所需要的元器件，还需要准备3节5号电池、电钻、斜口钳、双面胶、黑色绝缘胶带、镊子、万用表、焊接工具等。对于单片机爱好者来说，这些都



所需元器件

元器件清单

标号	品名	数量	说明
A	塑料盒子	1	根据所购买的元器件大小来选择盒子尺寸
B	小型扬声器	1	小型超薄扬声器，也可使用其他8Ω扬声器代替
C	220μF/16V电解电容	1	
D	10μF/16V电解电容	1	
E	小尺寸洞洞板	1	本文使用LEAF32叶式万能板制作，也可用普通洞洞板代替
F	LM386音频功率-放大芯片	1	
G	STC12C5A32S2单片机	1	芯片带有PWM和大容量FLASH空间，不可用其他芯片代替
H	单片机IC座	1	
I	饮料吸管	1	选择可以套入光敏电阻的吸管
J	细导线	N	飞线用导线若干
K	5506型光敏电阻	1	只可使用5506型光敏电阻
L	3节5号电池盒	1	也可采用其他4.5~6V的电源设备代替



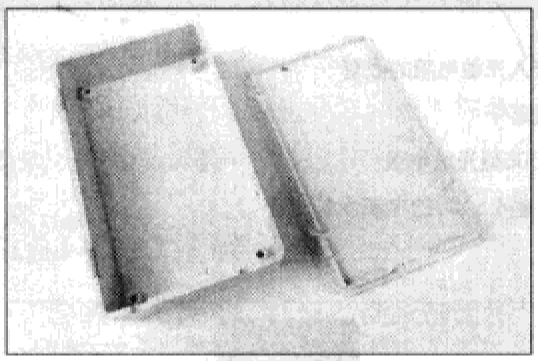
电路原理图

是必备工具，不多说了。饮料吸管可以到快餐店或是超市服务台免费取得，注意要选择直径可以放入光敏电阻的那一种。

电路原理图方面，单片机扮演着重要的角色，既要用作语音播放，又要采集光线处理触发工作。其中P1.4接口在图中标的是ADC接口，但这个接口还可以复用为DAC接口。JRC386是和LM386兼容的，使用哪一种都可以。如果你有更好的音频放大电路也可以代替LM386的电路，把单片机的DAC输出直接接到有源音箱也是可以的。电源部分我使用的是6V电池，你也可以用USB接口的充电器，或使用其他4~6V的电源。注意，一旦使用市电变压器的电源，就要做好滤波和稳压电路，适当地加入0.1μF（104）电容是很有必要的。

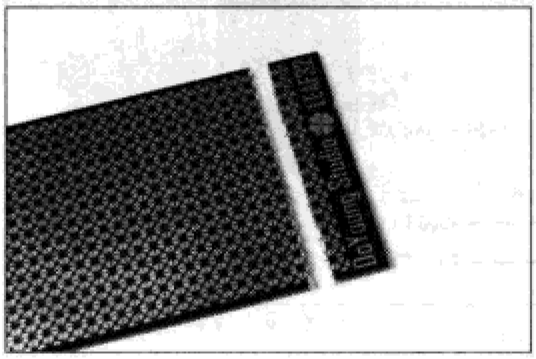
第1步：准备外壳

准备一个大小适当的外壳，大小要能把所有元器件都放进去。



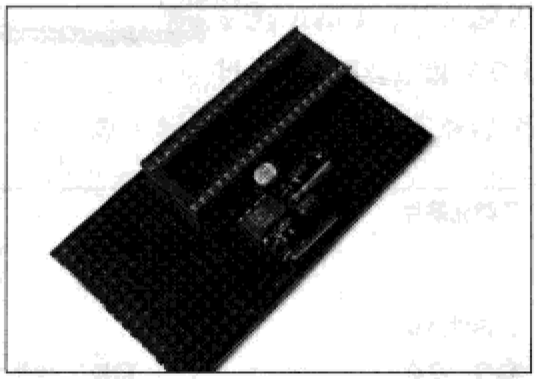
第2步：剪切洞洞板

我使用了LEAF32叶式万能板，可以很方便地焊接走线。你也可以选择能装入外壳的洞洞板，但也不能太小，最好是和外壳内尺寸相同的。



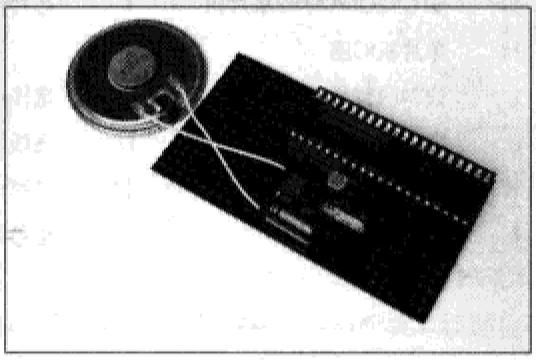
第3步：焊接元器件

按照照片上的样子焊接，注意光敏电阻的位置哦，因为光敏电阻的焊接位置决定了外壳上感光孔的位置。建议光敏电阻是相对外壳居中放置的。其他元器件的位置没有什么要求，注意要给扬声器留好位置。



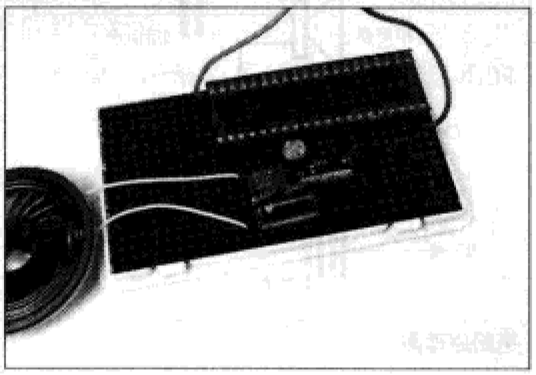
第4步：连接扬声器

扬声器是要粘在外壳上的，所以它和洞洞板之间应该是用导线连接。选择8Ω的小型扬声器，焊出适当长度的导线。



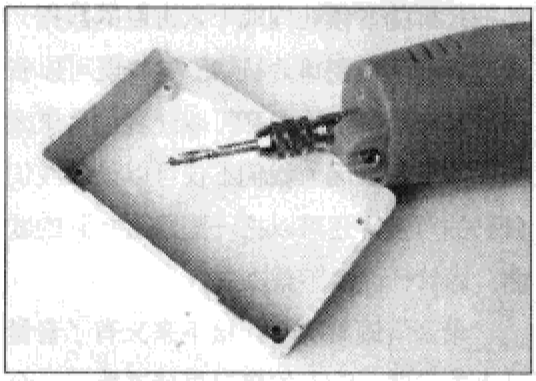
第5步：连接电池盒

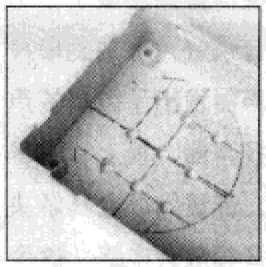
把电池盒的两条导线焊在洞洞板上，确定导线要引出的位置，因为一会儿要为导线钻一个引出孔。把制作好的电路部分放入外壳的背壳上，用双面胶粘好。

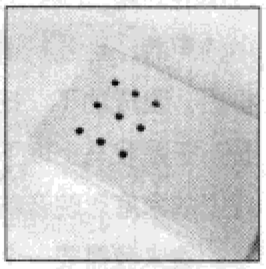


第6步：为扬声器钻孔

先在外壳的内侧用2B铅笔和直尺画一个九宫格图，画在即将要放扬声器的地方，然后在线的交点上由内向外钻孔，注意，最开始先不要钻透哦。先浅浅地钻一个坑，等9个坑都钻好，感觉位置呀、距离呀都OK之后再钻透。当然你还可以按自己的喜好钻出各种图案的孔来。我没有什么艺术细胞，钻个9孔的都想了好久呢。

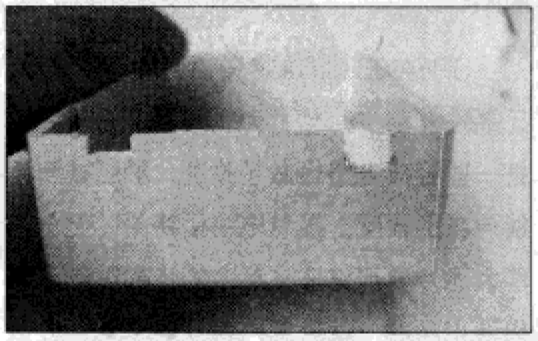


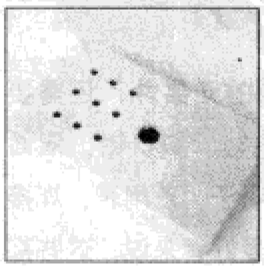


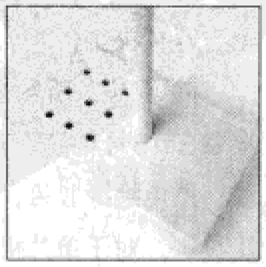


第7步：钻导线孔和感光孔

在第5步时我们说过要为电池盒的导线钻孔，就钻在最方便引出线的地方。钻感光孔时要特别小心，孔径要配合饮料吸管的直径，让吸管可以刚好卡在里面。同时要钻在光敏电阻的正上方。

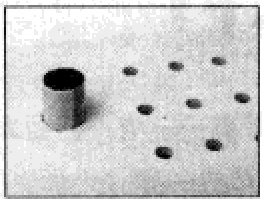






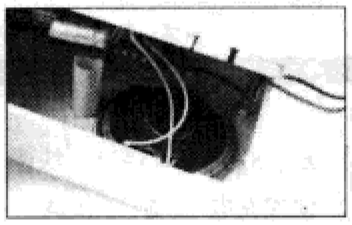
第8步：制作聚光导管

感光孔钻好后，就要插入吸管了。要先在吸管内壁贴一层黑色绝缘胶带，这样可以防止杂光的干扰。注意，不可以贴在吸管的外壁上，那样是没有效果的。最后剪掉多余长度的吸管，保持伸出外壳的吸管长度在2cm左右。



第9步：固定扬声器

扬声器必须要固定在外壳上才可以达到最好的放音效果。我是把双面胶带剪成圆形贴在扬声器的外边框上,然后再在扬声器背面垫上几片废纸。你可以用更好的固定方法，比如用热熔胶体来固定。



第10步：装壳上电

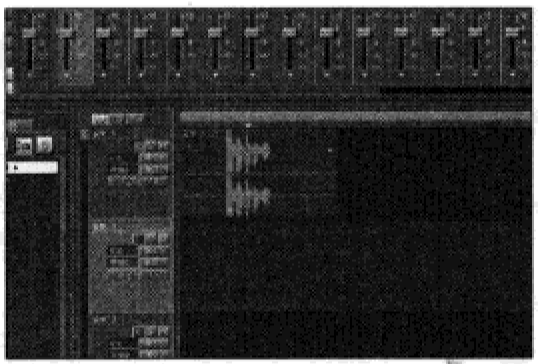
把外壳的后盖盖好，用纸巾擦干净，装上电池，打开电源就可以使用了。可以用双面胶把SPEAKER32粘在门框上，尽量放在人经常通过的地方，感光孔朝向光源。未触发时电路所消耗的电流为2~8mA，相当于点亮一支LED灯。关于SPEAKER32的HEX烧写文件在《无线电》杂志的网站上就有下载。相关的教学视频和资料在套件附送的资料中。好了，关于SPEAKER32的文章就到这里了，再见。

录音

哈哈，有朋友会着急了，你还没有讲怎么录音呢，也没有讲如何把程序写入单片机呀。关于单片机烧写程序的介绍，可以在我的其他文章中找到。在制作过程开始之前就要先录好音频、改好程序、烧写单片机，然后才开始制作的，因为录音的方法比较重要，所以放在最后来介绍。我下面所介绍的录音和对音频的处理方法，不仅可以用在SPEAKER32上面，还可以发散性地应用在其他基于单片机语音处理的制作中。在此希望可以抛砖引玉，激发大家的创新想象力，制作出更多、更好玩的单片机语音相关的小制作。

第1步：录音

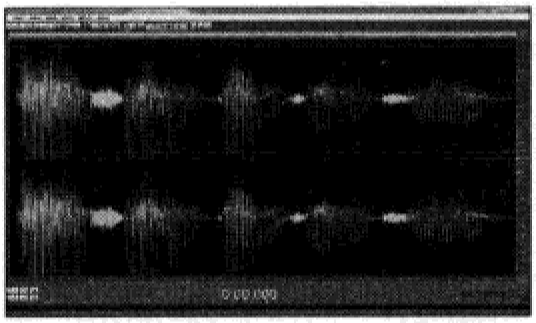
录音过程需要准备一支可以连接到电脑的话筒，还要安装Cool Edit Pro专业音频处理软件。选择一个音轨，点击录音按钮，对着话筒大声地说话。说得不要太长，控制在10个字以内。可以反复多说几次，然后剪辑出说得最好的一次。你也可以从别的音乐中剪辑一段，或是把某个电影明星的话放上去。



录音过程

第2步：处理音频

录音完成后，接下来是对录音做处理。先用音量调节效果把音量加大，这样在实际播放的时候可以达到更大的音量。然后把音轨两端的（说话前和说话后）空白部分删除，因为这部分没有意义，还会占用空间。



音量放大及删除空白

第3步：保存为8位ACM波形

一切都处理好后就点击菜单栏的“文件→另存为”，在弹出保存窗口中选择“ACM波形(*.wav)”，然后点击下方的“选项”按钮。在弹出的小窗口中选择“PCM”和“8.000 kHz，8位，单声道”，点击“确定”，再点击“保存”。这时软件会弹出一段英文的提示，意思是问你是否确定用低质量保存，直接点击“确定”即可。因为我们最终要产生的是单片机可以使用的8位数组，所以先把音频用8位音频格式保存，再转成8位数据形式。

第4步：保存为TXT文件

保存为ACM波形文件后，马上再点击菜单栏的“文件→另存为”，在弹出保存窗口中选择“ASCII Text Data(*.txt)”，然后点击下方的“选项”按钮。在弹出的小窗口中把所有复选框的对钩去掉，点击“OK”，再点击“保存”。这时我们的音频就能以txt文件的方式在记事本中打开了。

第5步：复制数据到程序中

我们打开txt文件时，会看到从0到255之间不规律的数据，其实这就是8位音频数据了。把这些数据完完整整地复制到SPEAKER32的源程序中，建立一个音频数据的数组表，程序在需要播放时就是调用这个数组的。需要注意的是，程序在调用数组的时候会有速度的问题，也就是放音的变速。因为单片机是采用的内部RC时钟源，主频并不是稳定的，在播放时会有语音过快或过慢的情况，这时可以在程序中调整播放速度。

关于SPEAKER32编程部分的介绍和程序原理分析，敬请关注我的其他文章和视频。如果制作过程中出现问题，都可以和我取得联系。

SPEAKER32套件本刊淘宝店boqu.taobao.com有售。

ELEJ-IDBC1 智能数字电池充电器的设计

◇吴礼军

如果你像我一样是一个电子迷，那么你一定玩过模电、数电和单片机，原因很简单——电，让我疯；电，让我迷；玩电，通宵达旦不累；玩电，思维活跃……甚至，信誓旦旦——我喜欢你就像喜欢单片机一样（大学说过的^_^）。说到电，真的很激动，哦，还是说点正经的吧，我打算今后用些时间把我之前或者现在做的项目或者大项目的一部分整理一下，与各位朋友（你不认识我，我不认识你，没关系，很快就会熟的，只要你真的酷爱电子，我们定然可以成为好朋友）分享。第一个项目是智能数字电池充电器ELEJ-IDBC1，它有什么“牛”的，读懂，然后调试制作，你就知道！朋友，ELEJ-IDBC1让我们学过的微分、数字PID、数字滤波器等在单片机上“生机勃勃”起来！

下面先看看ELEJ-IDBC1实物吧！ELEJ-IDBC1由两块板构成，分别为核心板和显示板，核心实物如图1所示。

ELEJ-IDBC1的显示部分和电池盒焊接在另一块板子上，我把它称作显示板，实物如图2所示。

如图3所示，ELEJ-IDBC1正在为镍氢电池以约700mA的电流快速充电。

ELEJ-IDBC1的强大功能

- 全数字控制，稳压&恒流控制使用数字PID算法（30μs），精准、快速。
- 电池充电过程：激活充电（0.2 ~0.3CA）→快速充电（0.5~1.0CA）→连续补充充电（0.02~0.05CA）。优化传统电池充电方法，对于不同状态的电池施以不同的充电电流，避免对电池产生损害。
- 电池充电算法使用电压下降（-dV/dt）法、温升（dT/dt）法和最大时间法，3个算法同时融入ELEJ-IDBC1，使ELEJ-IDBC1能最大限度呵护电池，保证ELEJ-IDBC1拥有卓越性能。
- 输入前端使用预稳压电路，ELEJ-IDBC1实现最大输入电压达40V，充电电流可达1A。
- 用户可对充电参数进行配置，以适应不同规格参数的电池，达到最优（充电时间&充电安全性）充电，同时，利用测量数据可以评估电池性能。
- 故障电池检测，电池置入电池盒自动检测。
- 完善的显示界面，实时显示充电电压、电流、电池温度及充电逝去时间（以秒为单位累加），给你以赏心悦目的感觉。
- 电池充满，蜂鸣器报警，告知用户取走电池。

ELEJ-IDBC1的电源

电源非常重要，从此，请永远记住GIGO（垃圾进，垃圾出）^_^!

ELEJ-IDBC1电源电路有两个：一个是由LM2575-5.0构成的预稳压电路，另一个是由P-MOSFET构成的Buck电路（也是系统的充电电路，从自动控制角度看，它也相当于恒压与恒流的执行机构，单片机及其算法是控制机构）。以下分别解释。

图1 ELEJ-IDBC1实物（核心部分）

预稳压电路如图4所示。芯片选用的是安森美半导体公司生产的LM2575-5.0单片集成开关降压型稳压电路，LM2575内部振荡器恒定的振荡频率为52kHz，具有1A的负载驱动能力，足够控制器及充电使用。

对于常用的诸如LM7805等线性稳压器的输出纹波，只包含输入的整流滤波，而开关稳压器的输出纹波除了输入的纹波外，还包含开关频率的基波成分，以及开关管在“ON/OFF”过渡状态时产生的尖峰噪声。可以使用如图4所示（阴影部分）的π型二级滤波器来滤除纹波，C5可以有效滤除开关噪声，L2有数十微亨即

可得到足够好的衰减特性。

图4中所示的VD1是为了防止输入电源反接而设置的，免得失误，烧坏LM2575。VD2可以使用其他同规格的肖特基二极管替代，我常使用的就是IN5819、SK310A等，你也可以不用LM2575，用LM7805，但是需要自己扩流，这样就不如LM2575方便，毕竟LM2575比LM7805价格贵，花钱就可以买方便嘛！

LM2575-5.0构成的预稳压电路在ELEJ-IDBC1中的实际照片如图5所示，LM2575-5.0是安森美半导体公司生产的贴片器件。

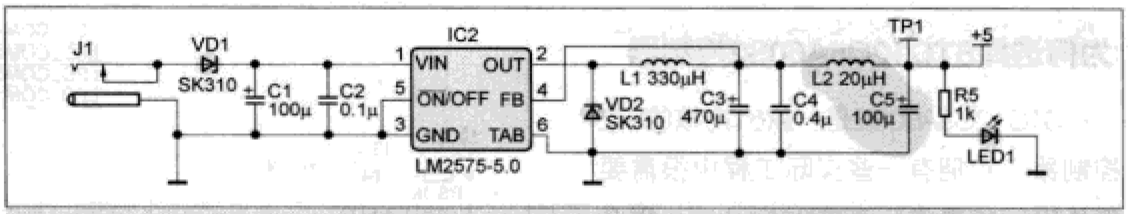


图4 +5V稳压电源

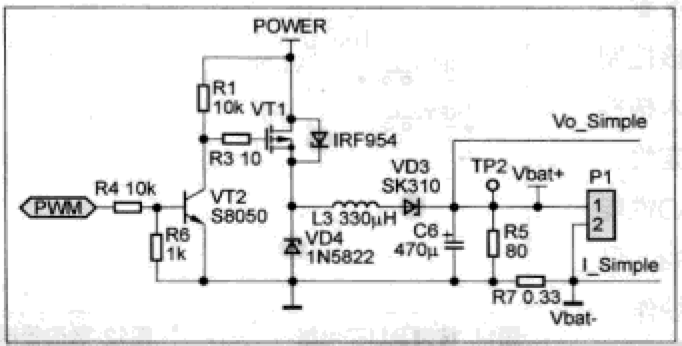


图6 Buck电路

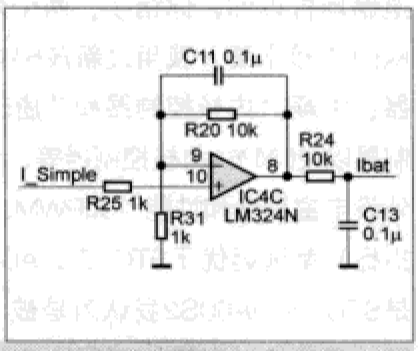


图7 电流放大电路

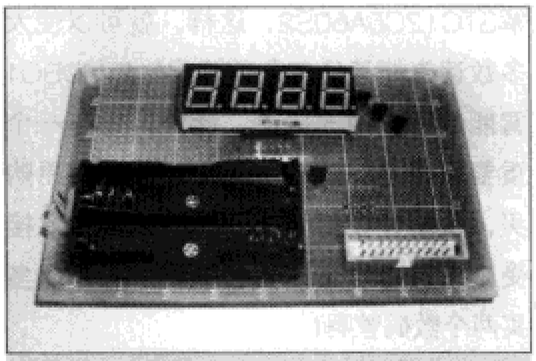


图2 显示板实物图

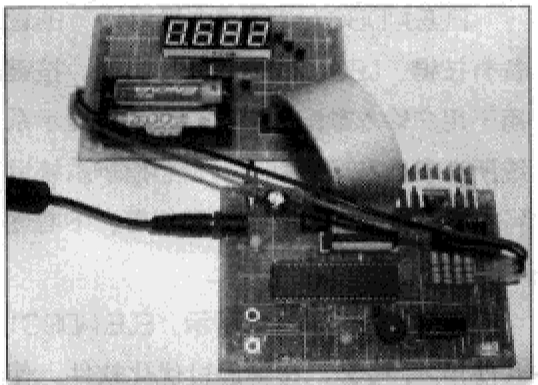


图3 ELEJ-IDBC1正在充电

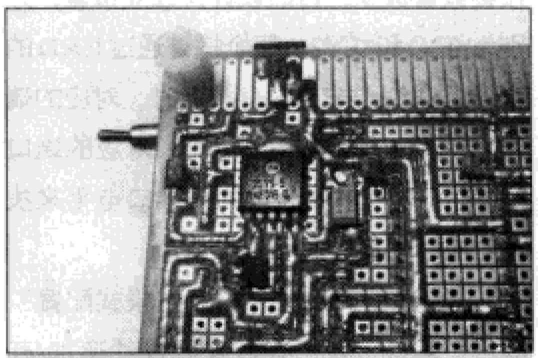


图5 LM2575-5.0焊接图

Buck电路如图6所示。Buck电路在这里可以实现恒压、恒流输出，输出参数电压和电流利用PWM技术控制，PWM技术是控制信号频率恒定，脉冲宽度（也就是占空比）改变，Buck电路通过反馈电路获取电压和电流参数，控制是基于控制器内部的控制算法实现。

硬件测量电路

测量电路也就是系统的反馈电路，用于获取Buck电路的输出电压和电流，同时，也获得系统温度参数，电流放大电路如图7所示。测量电路均为运算放大器构成的同相放大电路，除电流测量放大电路的放大倍数为11外，其他3个同相放大器放大倍数均为2。解释一个问题，仔细看看这几个放大器，你会发现负反馈电阻均并联一个0.1μF的电容器，这是为何？

这个问题，可以从经典控制理论的稳定性原理分析，也可以从模拟电路角度分析。相对来说，从模拟电路角度分析，更容易使大多数人理解，若从经典控制理论的稳定性原理分析，则需获得运放LM324N构成放大电路的传递函数，再利用根轨迹等方法判断，不是很简单呦！

就电流放大器来分析：放大倍数$A=1+R20/R31$，充电电流在0.33Ω的采样电阻上产生一个对应的小电压，放大11倍，然后给控制器ADC采样，作为恒流的反馈量。然而，这个放大倍数对于直流的充电电流和交流的噪声“一视同仁”，小小的噪声放大11倍后，也会被ADC采样当作重要的反馈量，结果就是恒流电路“拙劣”。怎么办？解决方法自然是“杀灭”交流的噪声，对，就是使用并联电容器。噪声频率一般很高，所以使得并联的RC电路的等效阻抗Zequ变小，由放大倍数$A=1+Zequ/R31$知，A因为Z变小而变小。其实，就是使得噪声的放大倍数变小，噪声没有被放大，微小得被控制器忽略了，不再影响我想要的反馈量了。

系统心脏——控制器

控制器是整个ELEJ-IDBC1的核心，控制算法就是附于控制器上实现的，所接外部设备（如数码管、按键等）也是由控制器直接控制，控制器原理图如图8所示。

实际焊接时晶体振荡器可以放于如图9所示的位置，这样可以合理使用板子空间。

控制器是ELEJ-IDBC1中最大的芯片，它在ELEJ-IDBC1的位置实拍如图10所示。

为何选择STC12C5A60S2控制器

STC12C5A60S2是一款51内核的8位控制器，它拥有一些实际工程中很需要的外设。如果你一直在8051-ing，那么你肯定会说它功能强大，然而，我真的遗憾地告诉你，你错了。两个角度看：从51内核来看，我用过新茂51内核控制器、中颖51内核控制器和芯唐51内核控制器以及NXP51内核控制器等，稳定性、外设丰富程度和性能（如PWM、AD性能指标）都远远优于STC12C5A60S2，只是STC12C5A60S2我认为是被“炒作”了，用价格“迷惑”了国内市场，从控制器位数来看，同样是8位机，我做项目用过最多的是富士通的新8FX微控制器（MB95XXX系列）、飞思卡尔的S08系列等，都是8位机的佼佼者。此外，如果和ARM控制器的Cortex-M0和Cortex-M3系列（去年8月份，我做光伏逆变器用NXP的Cortex-M0作主控制器，最近用富士通的Cortex-M3做永磁同步电动机（PMSM）的180° FOC的控制器）相比，真的是一个在天上，一个在地下。

众位兄弟可能会说，那你干嘛不用其他的控制器做这个ELEJ-IDBC1呢？原因很简单，很多电子迷是刚刚入门，掌握或者使用过的控制器大多是51控制器，而51控制器又以STC12C5A60S2居多，可以这么说，大多数玩单片机的人都了解STC12C5A60S2，这样，就可以使大多数读者能读能实际制作出ELEJ-IDBC1智能数字电池充电器。此外，还有一个重要原因是STC12C5A60S2十分容易购买，价格让我都“激动”，你定然能接受，尤其是学生！省一块钱，还可以多买两个数码管啊！

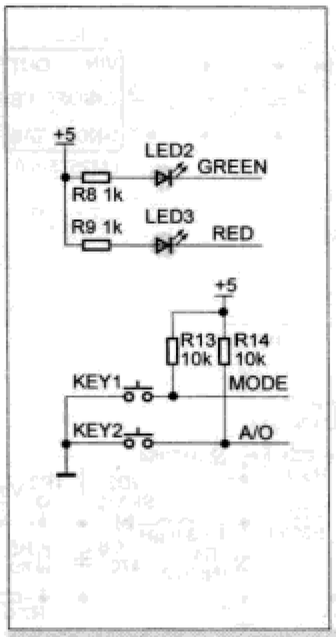


图11 按键及LED电路

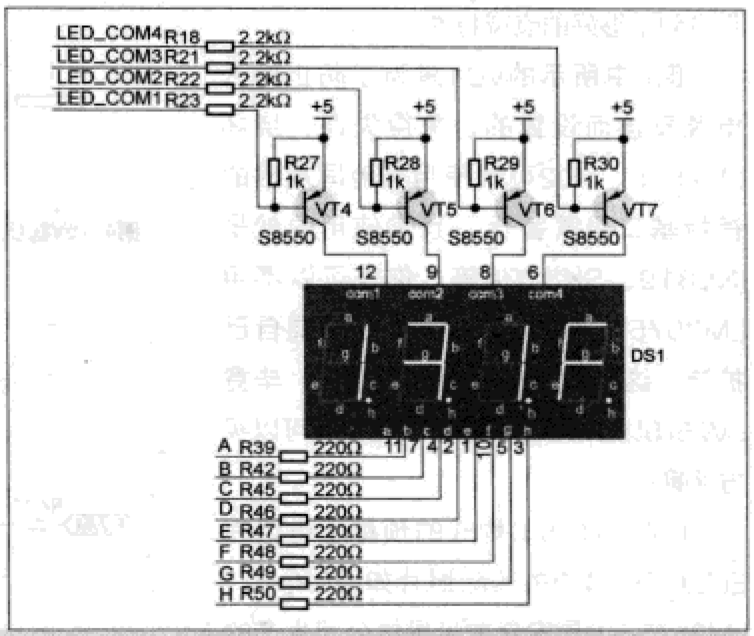


图12 数码管电路

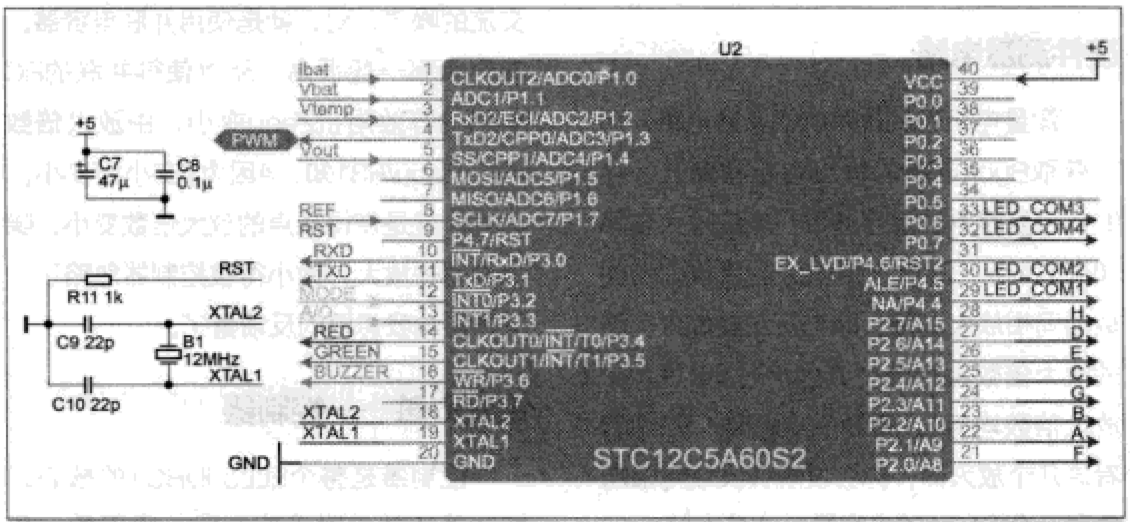


图8 控制器电路

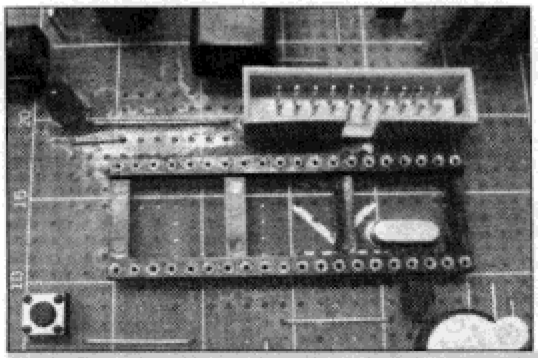


图9 晶体振荡器在ELEJ-IDBC1的实际位置图

图10 控制器实拍图

ELEJ-IDBC1人机交互设备

ELEJ-IDBC1实现“人机对话”的设备有按键、LED、数码管和蜂鸣器，按键用于用户输入欲配置参数，数码管显示系统所有参数和运行状态，LED指示系统运行状态，蜂鸣器用于提示和报警。下面逐个分析吧！

按键和LED如图11所示。ELEJ-IDBC1共使用2个按键，按键通过优化软件，使数量达到最少，仍可满足多个参数配置。按键数量极少，自然设计为独立按键，分别为KEY1和KEY2，每个按键通过10kΩ的电阻上拉。当按键没有按下时，对应的端口为“1”，当按键按下时，对应的端口为“0”。控制器通过判断端口电平来执行对应的功能。

其中，“MODE”键为“模式配置”键，“A/O”为“参数或配置项递加/开关”键。

数码管电路如图12所示。

各器件参数到底如何选择？为了真正搞懂这样的硬件设计，包括上面说的LED限流电阻的选择，先来分析一个问题——数码管驱动，从a段（其实就是一个LED）分析。

如图13所示，基极电流I_B为：

$$I_B = \frac{5-U_{BE}}{R2} - \frac{U_{BE}}{R1} = \frac{5-0.7}{2200} - \frac{0.7}{1000} = 0.0013A = 1.3mA$$

三极管S8550的放大倍数β典型值为300，若三极管工作在线性区，则按照$I_C=\beta \times I_B$算得，I_C电流为390mA，很显然实际流过LED的电流一定小于390mA（否则LED就不会亮了，因为它已经烧坏了），此时I_C已经不在随I_B线性变化，三极管不在放大状态；此时I_C电流已饱和，U_{EC}间电压拉低，压差大约在0.3V，三极管相当于一个闭合的开关。

那么I_C到底是多大呢？其实，它与LED和$R3$直接相关，这下明白LED相关电路的独立设计了吧，不用再网上找参数了！

$$I_C = \frac{5-U_{EC}-U_{LED}}{R3} = \frac{5-0.3-2.0}{200} = 0.0135A = 13.5mA$$

ELEJ-IDBC1界面

如果你接触过客户，你就会深刻地明晰一点，电子产品的界面很重要，很大程度决定你的产品能否被人相中。看看市面上现有的所谓智能充电器，其实大多数都是比较器和基准电路构成的，所谓的智

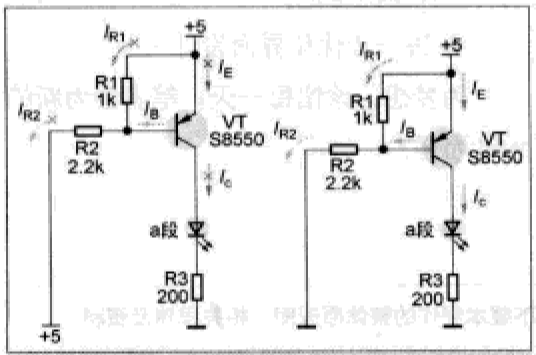


图13 LED驱动原理图

说说恒压&恒流控制算法——PID

PID控制器对闭环控制中的误差信号进行响应（说响应有点专业，你可以理解为PID控制器处理的就是误差信号），并“尝试”对控制量进行调节，以获得期望的系统响应（想要的输出）。被控的参数可以是任何可测系统量，例如，ELEJ—IDBC1系统的电压和电流。PID控制器的优点在于，可通过改变一个或多个增益值，并观察系统响应的变化，以实验为根据进行调节。可以说，PID的调试不需任何仪器，只要你有足够的经验，参数可以迅速确定。

数字PID控制器是以周期性采样间隔（ELEJ—IDBC1采样周期30μs）执行控制操作。假设控制器的执行频率足够高，可以使系统得到正确控制。误差信号是通过将被控参数的实际测量值减去该参数的期望设定值获得的。误差的符号表示控制输入所需的变化方向。

控制器的比例（P）项是由误差信号乘以一个P增益因子形成，可使PID控制器产生的控制响应为误差幅值的函数。当误差信号变大时，控制器的P项也将变大以提供更大的校正量。随着时间的消逝，P项有利于减小系统的总误差。但是，P项的影响将随着误差趋近于零而减小。在大部分系统中，被控参数的误差会非常接近于零，但是并不会收敛，因此始终会存在一个微小的静态误差。

PID控制器的积分项（I）用来消除小的静态误差。I项对全部误差信号进行连续积分。因此，小的静态误差随着时间累积为一个较大的误差值。该累积误差信号与一个I增益因子相乘，即成为PID控制器的I输出项。

PID控制器的微分项（D）用来增强控制器对误差信号变化速率的响应速度。D项输入是通过计算前次误差值与当前误差值的差值得到的。这一差值与一个D增益因子相乘，即成为PID控制器的D输出项。系统误差变化得越快，控制器的D项将产生更大的控制输出。并非所有的PID控制器都实现D或I项（不常用），例如，本应用中未使用D项，这是因为输出电压或电流的响应时间相对较慢。如果使用了D项，将导致PWM占空比的过度变化，会影响算法的运行，并产生过电流断电。

理解了PID基本原理后，下面来看看ELEJ—IDBC1中是如何使用PID算法（使用的是PI算法，即D增益因子=0）的。

PI控制输出y(t)为：

$$y_{(t)} = k_1 \times e_{(t)} + k_2 \times \int e_{(t)} dt$$

对于控制器系统（常用数字量）输出u(k)为：

$$u[k] = K_P \times e[k] + K_I \times \sum_{j=0}^{j=k} e[k]$$

其实，这是一个位置式PID算法公式，可以看出若实现PID控制，必须有e[0]、e[1]、e[2]、……e[k−1]、e[k]。你想想，系统若一直工作，会产生多少个误差量e，直到把单片机的RAM放满，然后呢，对，系统“死”了。

只能用其他形式的PID算法公式。由上式得：

$$u[k-1] = K_P \times e[k-1] + K_I \times \sum_{j=0}^{j=k-1} e[k-1]$$

两式相减，看看结果如何：

$$u[k] = u[u-1] + K_P \times e[k] + K_I \times e[k-1]$$

好了，实现PID算法只需当前的误差e[k]、上一次误差e[k−1]和上一次的输出量u[k−1]，这就使得问题简化了。看看代码：

```
void CC_Control (void)
{
 Error[0] = average_value[0] - Iset;
 Vpwm=Vpwm + (Error[0]>>
 4)+(Error[1]/20);
 Error[1]=Error[0];
 CCAP0H=Vpwm*RELOAD/VIN;
 CCAPM0=0x42;
 CR=1;
}
```

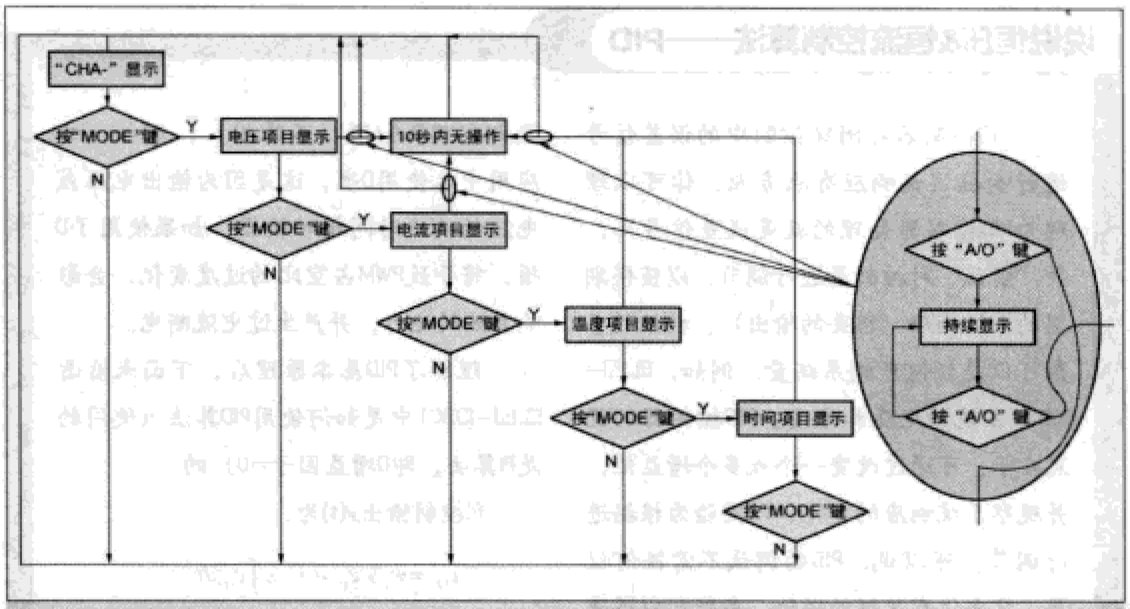


图14 充电电池电压、电流、温度和充电逝去时间值的软件实现流程图

能，仅仅是使用比较器比较、判断、实现，若想实现友好界面和参数配置，不用控制器，基本不可能。ELEJ-IDBC1指示界面由LED和数码管构成，LED指示部分由一个红色LED和一个绿色LED构成，组合配置显示，以指示电池的不同状态，数码管为4位8段数码管（显示为红色字体），可以显示充电电池的具体参数和状态字符。

实时显示充电电池电压、电流、温度和充电逝去时间值的软件实现流程如图14所示。

设计制作时，可以混合使用直插元件和贴片元件，使ELEJ-IDBC1更美观。ELEJ-IDBC1核心板背面如图15所示。

图16所示的是核心板上运放构成的放大器实物焊接图片，电阻使用的是0805封装的贴片电阻，0.1μF的电容器使用的是直插独石电容，但是，我把它焊接在了背面。

显示板背面实物图片如图17所示，两个螺丝用于固定电池盒。

写在后面——比ELEJ-IDBC1更牛的是ELEJ-IDBC2！

首先，ELEJ-IDBC2使用的控制器具有10位以上的PWM（目前STC还没达到这个标准，我会尽量选择大家容易买到，又易上手的控制器），原因如下：

STC12C5A60S2控制器的PWM为8位，用此控制器控制Buck电路输出电压最小值为$V_{IN}/256$，如果想获得输出电压为0.01V的精度，则最大输入电压$V_{IN}=256\times0.01V=2.56V$，这样Buck电路最大输出电压一定小于2.56V（即使使控制器占空比为100%，输出电压减去开关管压降也不会达到2.56V），这样的电压充其量也只能为单节镍氢或镍镉电池充电，不能为锂电池充电。如果使用的控制器PWM为10位，则满足同样要求的情况下，输入电压可达10V，输出电压也完全可以满足锂电池充电电压。

再来说说笔者的ELEJ-IDBC2的初步设计目标：

★ ELEJ-IDBC2为智能数字通用电池充电器，可为多种化学类型电池充电，目前常使用的电池有密封铅酸电池(SLA)、镍镉电池(Ni-Cd)、镍氢电池(Ni-MH)和锂离子电池(Li-Ion)，ELEJ-IDBC2内置多种充电算法，对不同化学类型和不同规格的电池常用不同的充电方法充电。

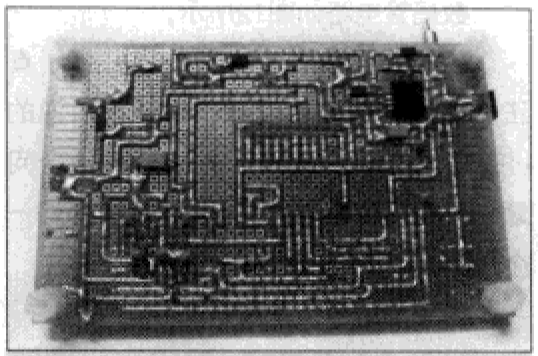


图15 ELEJ-IDBC1核心板背面实拍

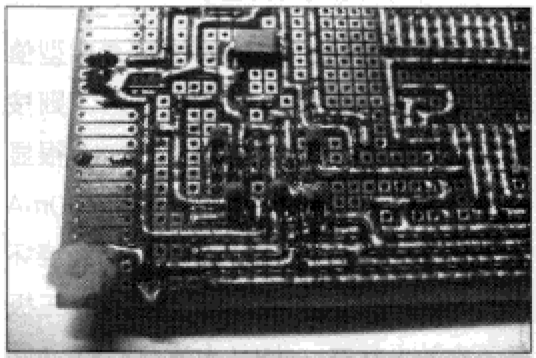


图16 采样放大电路实物图

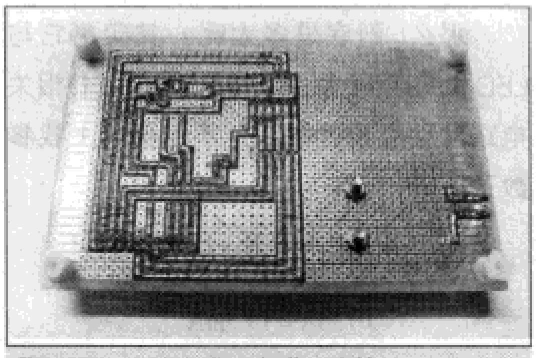


图17 ELEJ-IDBC1显示板背面实拍

★ ELEJ-IDBC2使用如下停止充电的判别算法：*t*（时间法）、*V*（电压法）、-*dV*/*dt*（电压变化率法）、*I*（电流法）、T（温度法）、*dT*/*dt*（温度上升速率法）、D*T*（超出环境温度的温度值法）和*dV*/*dt*=0（零电压差法），分别适应不同化学类型的电池。

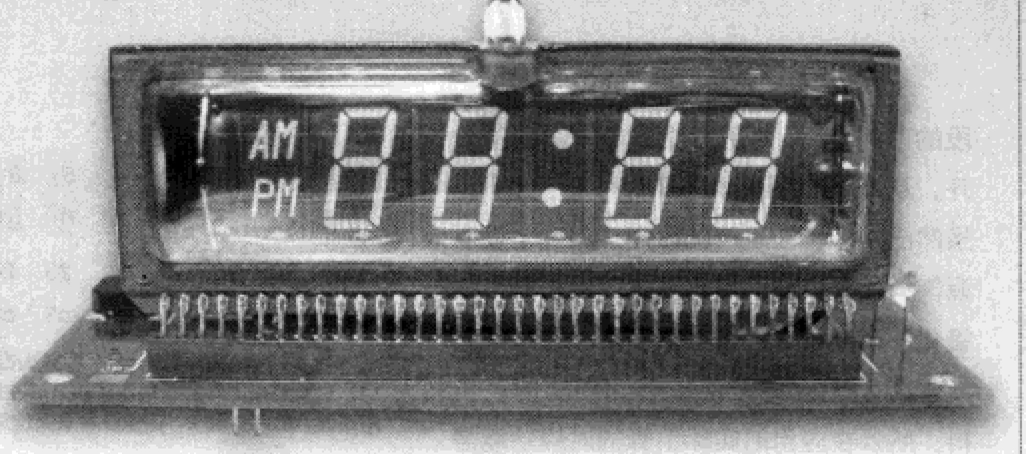
★ 进一步优化界面设计……

为梦想，珍惜每一天！笔者会为新的设计而努力。

■ 读者可以到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn上下载本制作的整体原理图、相关程序及资料。

◇张锋

新型电路驱动的LD8140VFD电子时钟



VFD驱动基础

真空荧光显示屏（Vacuum Fluorescent Display）是1967年由日本伊势电子株式会社以中村先生为首的研究小组发明的，他们利用低能电子发光原理，使用真空电子管技术，以ZnO:Zn作为荧光粉发明了这一器件。目前VFD已在工业、家用电器业、数字化产品等领域得到了非常广泛的应用。

VFD显示器件的工作原理为：通过给阴极灯丝接通电流，使其加热到650℃左右，此时将从阴极上开始释放出热电子，这些热电子受到栅极和阳极上的高压电位的加速，飞向栅极与阳极，最后撞击阳极上的荧光粉致其发光。

从上述VFD工作原理的说明可以看出，需要使用VFD器件的某笔段发光，需要两个基本的条件：一是为提供灯丝工作电压，使灯丝发热，发射出热电子，二是需要在栅极和笔段上连接相对于灯丝电位为正的加速电压，以加速电子撞击阳极荧光粉。只有满足这两个基本条件才可以使相应的笔段发光。仅给栅极或者仅给阳极提供正向电压，笔段无法正常发光显示。栅极、笔段电位与发光关系如图1所示。

由于VFD发光亮度高，光线柔和，且颜色饱和单纯，实际显示效果具有相当的美感，使得很多爱好者对此类显示器件情有独钟。

本制作的功能及特点：

1. 使用新型的驱动电路驱动VFD屏幕，全部使用成品零件，避免自行绕制变压器的工作；
2. 单5V电压驱动，可以直接使用Mini-USB口提供电力，也可以通过板上2.54插针适配其他类型的电源接口，供电简单；
3. 使用贴片元件，可靠性好，尺寸小，与使用直插元件相比，大大缩减了整机尺寸，做到了超薄；
4. 使用433MHz无线接收电路接收外来的母钟时基信号，可以实现外部信号授时；433MHz无线接收模块可以直接使用原设计电路，直接焊接在PCB上，也可以通过插针连接外部其他接收模块，便于根据实际的实际情况进行制作；
5. 电路上增加了可选装的红外接收模块，硬件上支持红外信号输入，可根据需要实现外部遥控操作电子钟；
6. 支持软件自动调节亮度，硬件上使用CDS实现环境光亮度判断，显示亮度可随环境光的变化自动调整；
7. 充分利用了单片机内的资源，外围电路简单、价格便宜，整机没有选用昂贵零件，尽最大可能减少了外部硬件电路；
8. 单片机剩余I/O脚全部通过1.27mm的排针引出，可根据实际需要使用，便于扩展（如控制外部继电器、获取外部其他信号等）附加控制功能；
9. 电路中使用的都是常见、易购的零件，整机制作成本低廉，便于电子爱好者自行仿制。

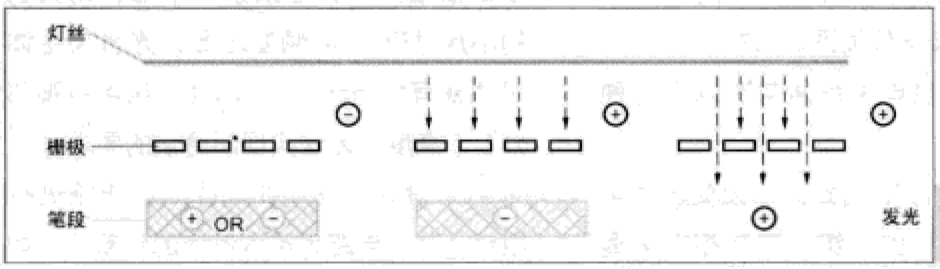


图1 栅极、笔段电位与发光关系

LD8140时钟显示屏

本制作所使用的VFD时钟屏的型号是LD8140，属时钟专用VFD显示屏，从屏幕背面的标签判断，此屏由NEC公司生产。本人当时仅作为收藏用途采购了一批，属库存产品，没有官方资料。这一批显示屏幕一直闲置在抽屉里，等到最近才又觉得需要利用起来，正好也有一段空闲时间，也就有了本制作。

从屏幕的线路连接上看，LD8140屏属于静态屏，且专用于时钟显示，屏幕左边有AM/PM标志，主显示部分为4个7

段的“8”字，两两成组，中间由冒号分开。从外观上来看，屏幕制造工艺优良，虽然已是多年前生产的器件，但完全没有漏气，除了少部分屏幕管脚前端有稍微的氧化外，整体看起来一切正常。通过网络搜索后发现已经无法找到详细的原厂资料，所以在应用前实际引脚的对应功能需要自行测试绘制。

通过实际测试，结果显示LD8140屏的灯丝电压值在2.4~3.6V，实际应用中，灯丝驱动电压应严格限制在这个范围内。

从屏幕正面上方或者下方倾斜观察屏幕内的灯丝连接情况，可以发现屏幕灯丝是两横，水平拉过整个屏，而且左右两端的灯丝高度是一致的，从这点上可以判断，灯丝没有电位高度补偿。这种长度的屏幕，如果直接使用直流电压来驱动灯丝，会因为灯丝左右两端存在电位差造成梯度亮度效果，也就是出现屏幕两端左右亮度明显不同的问题，影响显示效果。实际测试中，当灯丝使用直流电驱动时，屏幕两端的亮度出现明显的亮暗差异，正好证实了这一现象。所以为产生亮度均匀的显示效果，此屏需使用交流电压来驱动。

栅极、阳极电压高低直接决定了屏幕各笔段的实际亮度情况，经验值一般应该在15~25V。通过测试，发现栅极、阳极上施加18~20V电压时，屏幕字段显示效果明亮，完全可以满足应用需求。

屏幕前主体结构属凸起的半弧形屏幕，即屏幕表面不是完全平整的，而且气管位于屏幕中央，这一点在设计外壳时要特别注意，防止发生组装困难的问题。屏幕引脚表见表1，尺寸参数如图2所示。

表1 LD8140引脚表

引脚	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
功能	F1	AM	PM	a1	f1	g1	e1,d1	c1	b1	a2	f2	g2	e2	d2	c2	b2	DOTT	DOTB
引脚	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
功能	a3	f3	g3	e3	d3	c3	b3	a4	f4	g4	e4	d4	c4	b4	NC	COM	NC	F2

注：(1) F1、F2为灯丝引脚，COM为栅极引脚；(2) NC为空脚；(3) DOTT与DOTB分别代表冒号的上、下两个点；(4) 引脚连接上需要特别注意的是最左边的8字中的PIN7:d1+e1笔断是连接在一起的，原屏设计只考虑到最高位只用来显示数字1和2，这意味着最高位显示某些数字与字符时可能无法正常显示，需要特别注意。

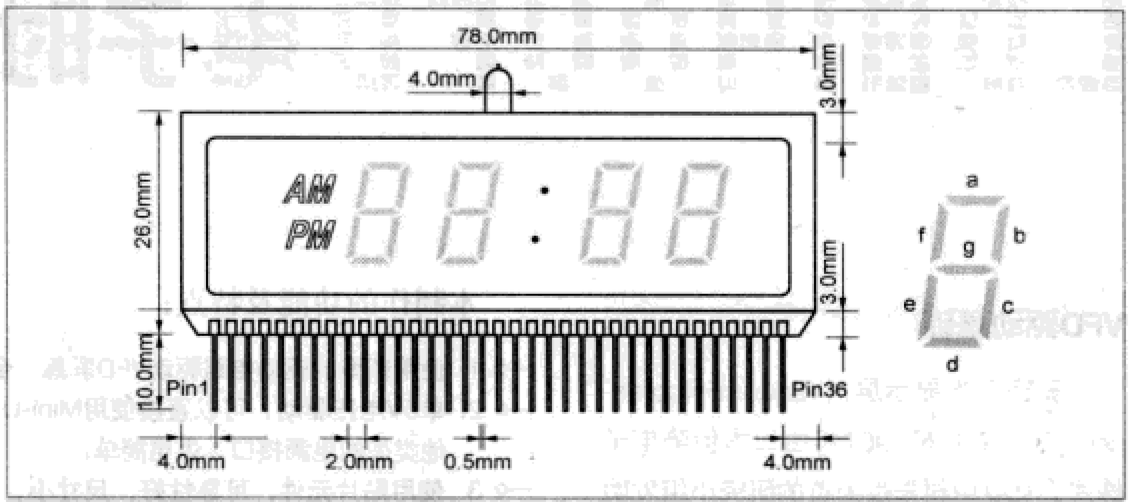


图2 LD8140显示屏外观尺寸参数

VFD供电方案

驱动VFD屏一个很麻烦的地方就是需要提供各种驱动电压及电位关系，驱动电压主要分几类：首先是阳极、栅极高压，小尺寸屏的典型值差不多是在10~30V，通常阳极、栅极电压值都相同，可以使用同一路高压来驱动。其次是灯丝电压，根据屏幕类型的不同，分为直流驱动与交流驱动两类，LD8140屏的灯丝需要使用交流电压来驱动，两组电压之间的连接则是通过将阳极、栅极高压的低端搭接到灯丝电位上，以形成加速电位关系。对于直流屏，则与灯丝驱动电压的低端连接，对交流屏，则需要与交流中心电位相连接（传统的方法是在变压器的灯丝驱动绕组中进行中心抽头来实现）。

在VFD驱动中，为确保显示正确，还需要实现“截止偏压”，即为了完全消除VFD笔段的显示，必须使阳极或栅极的任何一方相对灯丝至少为零电位或更低的电位，这样才可以确保完全切断飞向阳极荧光粉的热电子流。如果不能确保截止偏压，则关断的笔段可能出现低亮度的辉光造成显示“漏光”，直接影响显示的正确性。截止偏压是VFD规格说明中的一个重要参数，典型值为灯丝供电电压的0.5~1.5倍。相关电压及电位关系如图3所示。

实现以上供电关系通常有以下几种方法：

1. 使用工频变压器：工频变压器可以使用多个不同的绕组，产生相互隔离的、不同电压值的电压。它的主要优点是结构简单，可靠性高，价格低廉，缺点是耗能大，效率低，需要定制，同时体积与重量也大，且由于输入的市电电压波动的影响，容易导致输出电压不稳定。这种驱动方案显然不适合本制作的需求。

2. 高频变压器：通常由直流电源经DC/AC电路通过高频变压器产生规定的电压。先将直流电转换成高频交流电，通过高频铁氧体磁芯变压器获得多组所需的相互隔离的驱动电压。由于使用高频交流驱动，可以使用小型的铁氧体磁芯变压器，电源可以做到高效率、低功耗，同时具备体积小、重量轻、价格低的优点。但是这一方案的主要缺点是需要定制高频变压器，虽然也可以自行进行绕制，但是制作麻烦，不利于推广。而且超小型高频变压器很难买到，业余条件下最容易买到的小尺寸EE10高频变压器，光骨架主体尺寸就有1.0cm×1.0cm（不包含引脚部分），高度上无法实现超薄化的要求。

3. 使用升压电路与DC/AC电路进行组合。这一电路也是本制作的创新点。如

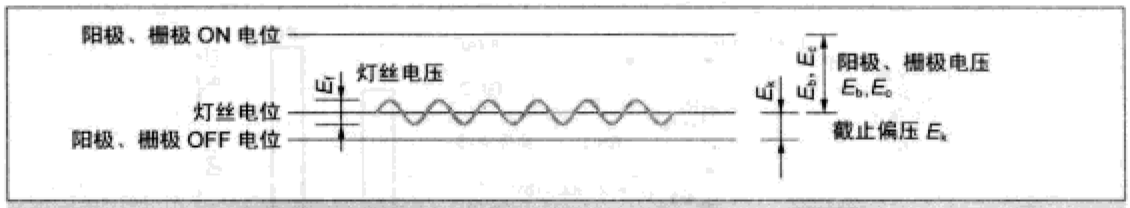


图3 交流驱动VFD实际电位关系

果不使用变压器，实现升压的主要办法常见为两类，一类是使用电容升压，另外一类是使用电感升压。考虑到体积与制作成本，以及本制作的高压小电流应用，使用电感升压电路，只需要小功率的电感即可满足需要，实际电感体积可以很小巧。对于DC/AC转换电路可以使用H桥变换电路来生成，电路成熟度高，既可以使用三极管分立元件实现，又可以使用专用芯片来实现，所占用的PCB面积也不多，利于实现小型化。这一电路的缺点是成本会有所增加，但是作为业余制作，如果在电路设计及零件选择上多下点功夫，可以在确保成本增加不多的情况下，实现小尺寸的电源供应电路，以驱动VFD屏幕的显示。

“截止偏压”部分的实现则比较简单，通常是在栅极和阳极电压供电电路中，使用稳压二极管串联限流电阻后，反向连接到直流高压上来实现，具体连接请参考图4所示电路原理图。

元件选型

1. 单片机选型

本制作的单片机部分选用美国Atmel公司推出的ATmega8L器件，封装为TQFP-32，它是最常使用的单片机之一，选择这一单片机的目的，一是考虑到其容易购买，应用范围也广，下载器廉价（购买一个USB ISP即可），开发软件也丰富。同时也考虑到了其片内丰富的各种资源，如片内振荡器、多个定时器/计数器(T/C)、A/D转换器、EEPROM、可编程看门狗定时器等，基本可以满足本制作的需求，同时可以大大降低外部硬件的数量，有利于降低制作成本。

2. 驱动芯片选择

由于LD8140是静态显示屏，直接使用分立元件（如三极管）等搭建驱动电路是最简单的驱动方案，但是使用分立元件制作驱动电路的缺点也很明显。由于静态显示屏驱动引脚多，需要大量的三极管来驱动，造成线路板布线困难，焊接工作量也相应增大，同时成本也高，所以，最后考虑使用专用驱动芯片进行驱动。

对于静态VFD显示屏，最常见的驱动芯片是“串入并出型”(Serial In-Parallel Out)驱动芯片。如果你以前驱动过LED点阵屏，你可以将此类驱动IC近似地想象成具有更多输出引脚且支持高压输出的74HC595电路，显示数据串行传输给驱动芯片，锁存后在相应的输出脚上输出驱动电压，以实现笔段显示。专用型VFD驱动芯片结构简单，工作稳定，可大大节约单片机引脚资源，简化电路。

表2列出了常见的串入并出型VFD驱动芯片的名称、输出电压、端口数量等相关规格参数，作为对比参考。

从实际采购情况来看，正压型驱动芯片价格高昂，很难买到样片，通常建议选择负压型芯片STF16360作为驱动芯片。此款驱动芯片也是目前流行的VFD驱动芯片，主要优点有：价格低廉、容易购买、工作稳定、应用范围广等。它总共提供了36个输出端口，可满足常见VFD屏的驱动需求。负压驱动型电源电路及各电压关系如图5所示。

电路结构

我设计好的印制电路图及制作完成的PCB实物如图4所示。下面来了解一下电路原理。

1. 灯丝电源驱动电路

灯丝电源驱动电路采用DC/AC变换电路，将直流5V电压转换成3.6V左右的交流电压。实际测试表明，驱动灯丝的交流电压波形不一定需要标准的正弦波，交流方波也完全可以驱动，但是频率必须高于25Hz，否则屏幕会出现明显的闪烁现象。电路中使用H桥电路，先将5V直流电转换成交流方波，然后通过电容耦合后，

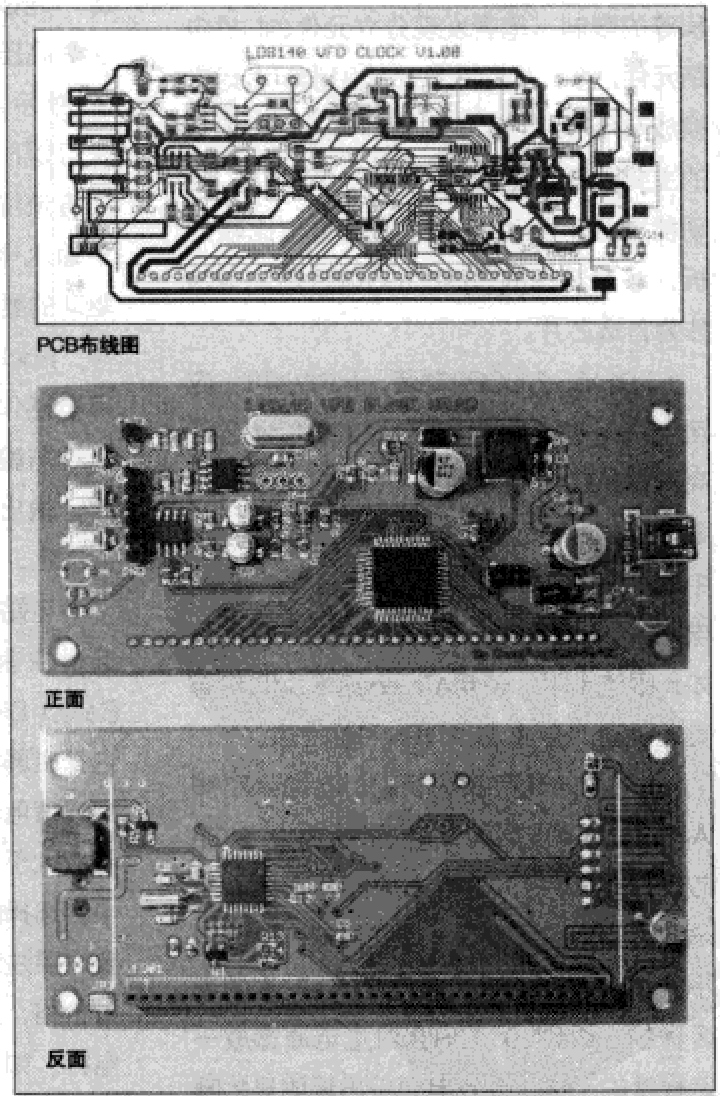


图4 PCB布线图以及焊接完成的PCB

为灯丝供电，通过合理调节输出方波的频率及耦合电容的容量，可以生成平均电压为3.6V左右的斜方波交流电压，完全可以满足灯丝驱动的需求。

在实验电路中，先采用BJT三极管制作H桥电路，主要还是考虑到BJT容易购买，价格低廉。H桥电路的原理比较简单，通过两路互为反向的驱动信号，使H桥臂两对角线上的两对开关顺序开启与关闭，以获得电压相同，但方向相反的交流方波电压输出。使用这个电路需要特别注意的是，由于三极管的开关过程中存在因电荷存储效应而导致的开关延迟，这个延迟会导致电路上下两桥臂出现直通短路的危险，所以在驱动过程中必须考虑增加硬件保护电路或通过软件延时来实现死区控制。这里的分立元件制作H桥电路也可选用小功率MOSFET管，可以节约不少外部元件。

在实际制作过程中，由于受到PCB面积等的限制，笔者发现分立元件的H桥电路元件过多，实际布线比较困难，考虑更换成专用芯片。选取专用芯片过程中考虑的主要因素还是廉价、易购、尺寸小、驱动能力强。经过多次实际试验与比较分析，最后选择的是L9110S电机驱动电路作为首选芯片。

L9110S为SOP8封装，尺寸小巧，应用电路简单，输出引脚OA与OB每通道最高可提供800mA驱动电流，驱动引脚IA、IB与TTL/CMOS 输出电平兼容，实际应用中输入端的驱动引脚上串联15 ~30kΩ的电阻，将操作电流限制在350μA左右。如无限流电阻，使用ATmega8单片机I/O脚直连驱动，会造成L9110S严重发热。

L9110S具有保护功能，当输入引脚IA与IB同为高或同为低电平时，输出端OA与OB为低电平，不会造成芯片损坏。但是通过实际应用发现，还是应该在驱动电平的切换过程中增加大约10μs左右的死区保护，否则L9110S会对主电源造成一定程度的干扰，导致电源中出现明显的噪声，会影响到本制作中的433MHz接收电路的工作。

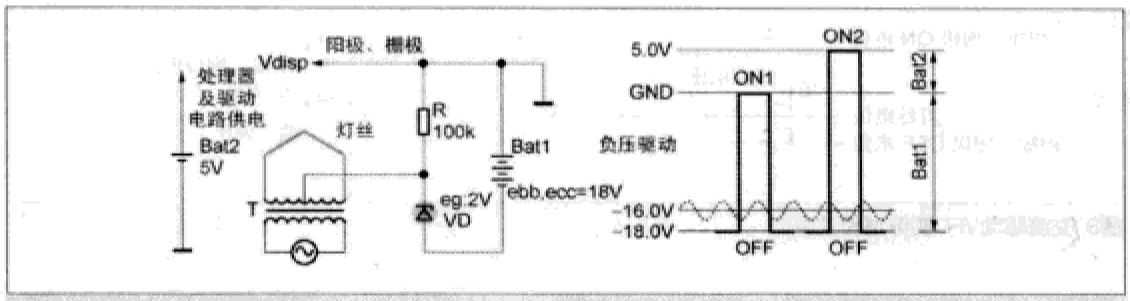


图5 负压驱动型电源电路及各电压关系

虽然L9110S的压降比BJT分立电路要高一些，但是合理选择相关驱动参数，输出电压依旧可以满足本制作的需要。交流耦合电容选择了4.7μF/35V的小容量电解电容，进一步降低零件尺寸与制作成本。

2. 高压驱动电路

高压驱动电路需要与VFD驱动芯片适配，由于本制作中选择的STF16360为负压驱动，需要生成一定电压值的负高压，连接到STF16360的VEE输入口。产生负高压采用的是Buck－Boost电路，如图6所示，也称为“升/降压式变换器”，是可以同时实现升压与降压功能的不隔离直流变换电路，它的输出电压的极性与输入电压相反，正好可以满足负电压驱动的要求。

Buck－Boost电路的工作特点是：使用电感作为能量传输介质，输出电压的极性与输入电压相反，可实现升压与降压，输出电压的高低由开关控制的PWM值决定。

电路中零件选择需要注意的是：应选择快速肖特基二极管SBD（Schottky Barrier Diode）作为整流二极管，电感应选择磁屏蔽的功率电感，不应使用层叠电感或者色环电感，要求电感饱和电流额定值应大于电路的稳态电感电流峰值，滤波电容选择的是普通的表贴铝电解电容，主要需要注意电容的耐压，考虑到电容尺寸与价格，这里使用的是22μF/50V的电解电容。如果手头没有50V耐压的电容，实际制作中也可选用35V耐压的电容替换。

表2 串入并出型VFD驱动芯片参数

商标	型号	输出电压	驱动类型	端口数量
NEC	μPD6700	118V	正压型	47
	μPD16306	280V	正压型	64
	μPD16310	80V	正压型	40
OKI半导体	ML9271	18V	正压型	48
	ML9272	65V	正压型	40
PTC	PT6305	70V	正压型	48
	PT6306	70V	正压型	64
STF	STF16360	-30V	负压型	36

3. 各驱动电压之间的互连及截止偏压电路

灯丝电压通过耦合电容与负压隔离，使用2个3kΩ电阻串联后从中间连接点与负压连接，模拟中心抽头变压器的连接，以实现与灯丝电压的中心电位的联接。截止偏压则使用稳压管与限流电阻来实现，静态VFD显示屏对“截止偏压”的要求一般都不高，这里实际选择的是3.3V的稳压管。

需要特别注意的一点是，灯丝电压耦合电容的极性必须严格按图所示连接，因为电路上还连接了十几伏的负压，如果反接电解电容，则会造成电解电容损坏。

4. 传感器、红外与按键部分

传感器主要使用了CDS光敏元件连接到片内A/D转换器，用于检测外部环境亮度。

红外接收部分设计上使用传统的一体化的红外接收管，连接到单片机的I/O口，作为接收外部红外遥控的通道。红外接收是作为本制作的可选部分存在的，实

际制作中根据自己的红外遥控器的类型，编写合适的红外解码代码，以实现控制。

按键部分使用了3个普通的微型按键开关，以实现［+］、［-］、［SET］设置功能。这3个按键分别连接到mega8的SCK、MISO、MOSI三个ISP引脚上，而ISP则在PCB上通过排针引出，一来可用于ATmega8程序的读出与擦写，二来这一组排针可作为引入外部按键的连接口使用（包括正负电源与Reset复位引脚）。当然，应该特别注意的是，在读写程序时，3个按键都要保持弹起状态。

5. 无线接收部分

无线接收部分也是电路中的可选部分，使用的是315MHz/433MHz无线接收电路。为了进一步降低PCB的面积，使用单片接收电路SYN410R或SYN450R作为主芯片，使用晶体振荡器稳频，由其组成的接收电路具有外部元件少、无需调试等优点。

完整的电路图如图7所示。

软件驱动特点

软件部分充分利用了ATmega8L的内部资源，避免使用专用电路，以节约成本。

首先，单片机主频使用内部8MHz的RC振荡器产生，外部空出的晶体振荡器引脚可以用来连接32.768kHz的普通手表晶体振荡器，配合Timer2定时器，以实现较准确的秒级中断，用于时钟计时用途，这样可以节省掉传统外部RTC电路及电池等电路部分，同时因为支持接收外部授时信号，所以维持走时准确不是问题。时区、闹铃时间等信息保存在片内EEPROM中，可防止掉电丢失。

其次，驱动电压控制部分分成两组，其中片内PWM设置成快速PWM模式，产生两路80kHz的可调脉宽的驱动方波，其中一路用来驱动Buck-Boost电压转换电路产生负高压，另一路驱动三极管以调节

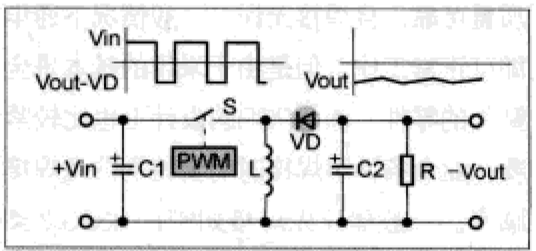


图6 Buck-Boost电压转换电路

表3 制作所需元器件列表

数量	元件名称	元件标号	元件值
1	EAF8RM11EF	SP2	
1	M02LOCK_LONGPADS	JP1	
1	M03PTH	JP4	
2	排针	JP5,JP6	
1	MA06-1	SV2	M04 1.27mm
3	贴片按键	S1,S2,S3	SWITCH2-SMD-1101NE
7	C-EUC0805	C5,C6,C12,C14,C16,C17,C18	0.1μF
1		C4	0.1μF/50V
1		C13	1.5pF/50V
1		C15	4.7μF
1		C19	5.6pF
2		C8,C11	15pF
1		C7	22pF
1		C1	220pF
1	INDUCTORCR75 7730电感	L1	1MHz
2	RESISTOR_EUR0805	R1,R2	1Ω
1		R14	1kΩ
1		R3	1.5kΩ
1		R16	6.4kΩ
1		R12	10Ω
3		R13,R15,R22	10kΩ
2		R4,R5	20kΩ
2		R7,R17	22kΩ
2		R9,R10	3kΩ
1		R23	56kΩ
2		R11,R20	100kΩ
1	ZENER-DIODESOD80C 稳压管	VD3	3.6V/0.5W
2	CPOL-EUSANYO_SMD_A5	C9,C10	4.7μF
1	CRYSTALHC49US晶体振荡器	B2	6.7458MHz
1	CPOL-EUSANYO_SMD_C6	C3	22μF/50V
1		C2	100μF/10V
1	INDUCTOR0805	L2	24nH
1		L3	39nH
1	CRYSTAL32-SMD 手表晶体振荡器	B1	32.768kHz
3	PNP 三极管	VT1,VT2,VT9	8550
1	M01OFFSET	ANT1	ANT
1	单片机	IC3	AVR-MEGA8-AI
1	H桥驱动	IC2	L9110SSO08
1	VFD屏	VFD01	LD8140
1	M01SMD	JP3	M01SMD
1	CDS光敏电阻	R6	PHOTOCELLPTH
1	SOLDERJUMPERNC	SJ1	SJ
1	肖特基二极管	VD2	
1	STF16360	U$4	
1	SYN410RSO08	IC1	
1	TSOP1840	IC4	
1	USB SMD	X1	
1	自恢复保险丝	R8	VARISTORCN1812

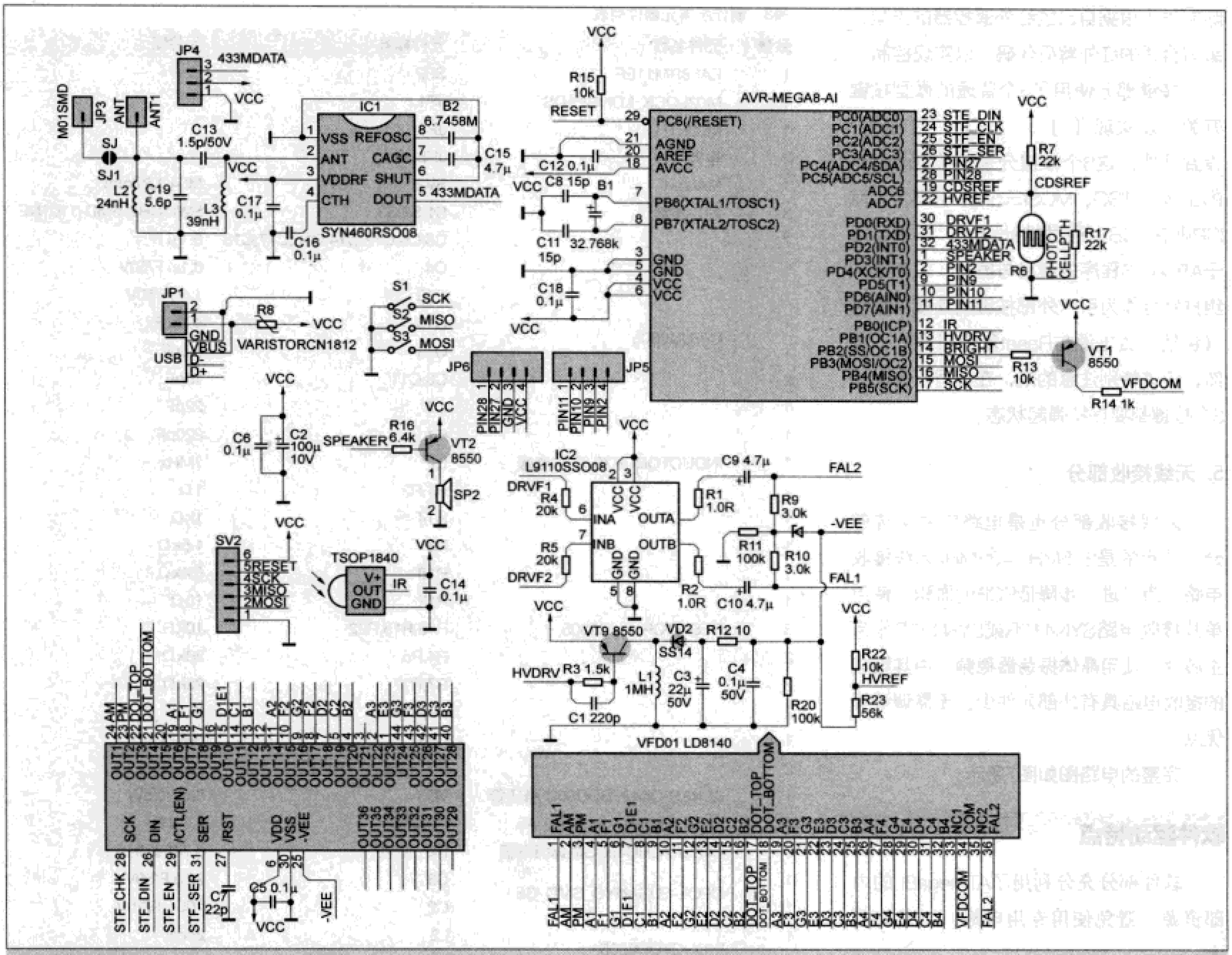


图7 电路原理图

VFD显示屏亮度（VFD屏亮度控制不应使用直接调整阳极与栅极高压来实现）。灯丝交流电压驱动部分则通过输出5kHz的互补方波，驱动L9110S输出交流方波电压（如果电路是无保护电路的分立元件构成的H桥，则需要特别注意在软件中设置死区延迟，防止H桥电路发生短路）。

对应的负压稳压部分则通过电阻分压，将参考电压通过片内的A/D转换器转换成数字量后进行软件判断，通过动态调节输出的PWM值来实现高压部分的软启动与稳压功能，A/D转换器也被用来检测CDS的电阻值，通过CDS返回的值可以获知外部光线情况，同时通过软件对屏幕COM脚进行PWM调整，以实现随环境光自动改变屏幕亮度。

内部时间基准统一采用“Unix时间戳”(Unix timestamp)为标准，进行时间计数格式的统一，便于接收外部标准的校时信号，而本机则通过设置当前时区来显示当前的本地时间。年份、月份、日期、时、分、秒等信息都完全包含在Unix时间戳这样一个Unsigned Long的4字节数据中，在时间数据的交换处理上会变得非常容易。

软件支持通过315MHz/433MHz外部接收电路接收母钟发出的时基信号，实现自动授时功能。当然，也可以根据需要增加代码，接收其他格式定义的信号，以实现其他各项无线遥控功能。

安装调试

1. 焊接工作与安装

本制作的主要优点是整个电路中没有需要调试的零件，只要零件参数正确，质量可靠，且焊接无误，一般情况下通电即可正常工作。但是由于采用的基本是全贴片的零件，而且PCB的设计上也比较紧凑，业余条件下焊接时需要特别注意焊接顺序。一般建议先焊接如STF16360之类的贴片元件，焊接完成后，使用放大镜等

仔细检查引脚是否焊接正确，然后再焊接电阻、电容、按键等小零件，最后焊接直插零件。在焊接过程中，为了防止如直插零件的过孔被焊锡堵塞，可使用高温胶带先将这些直插零件孔先保护起来。实际焊接中，建议先焊接完主体，将无线接收部分的线路放在主电路调试正确后再焊接。也可以边焊接制作，边调试，例如先焊接完单片机部分的电路，然后即可焊接高压部分的电路。焊接完后即可进行测试，确保工作正常后，可继续焊接灯丝驱动部分的电路，焊接完后还是要进行对应的测试，确定无误后继续焊接后续零件。

笔者作为一位电路焊接新手，整个电路板在使用CF15烙铁头的情况下轻松焊接成功，其实贴片零件的焊接并不困难，只要稍加练习即可掌握。

对于VFD屏特别需要提示的一点是，由于LD8140生产时间比较久，部分管脚可能存在明显的氧化现象，不容易上锡，所以一般建议使用插座安装的方式。先焊接2.0mm排针座在PCB上，VFD屏则插入排针座与电路连接。这样做的另外一个优点是照顾到PCB正面焊接的是单片机，如果损坏，便于维修，不需要弯折VFD屏的引脚。另外一个解决方法是将LD8140的所有引脚从屏上直接焊下，根据屏的安装方向是直立还是水平，选择使用2.0mm的直排针或者弯排针焊上进行替换，LD8140屏幕下端有引脚焊盘，小心操作，可以很容易完成引脚的更换。

2. 通电测试

如果电路板是一次性焊接完成的，则在正式通电前应该再仔细检查一次电路板上的零件与线路，确保无明显的焊接错误、零件参数也正确后再通电。在加电前一般建议先用万用表的电阻挡量一下主供电插针正负两极的电阻值。测量过程中应该等到读数稳定，因为板上电源电容有充电时间，正常情况下，稳定后的电阻值应该在22～27kΩ。

通电后如果单片机工作正常，蜂鸣器及其驱动电路焊接无误，则会发出“哔…… 哔”两声，代表系统初始化正确，如果无鸣叫，请先检查单片机及蜂鸣器这部分电路。如果鸣叫后屏幕无显示，则应先观察屏幕灯丝是否发出暗红色，如果发出暗红色代表灯丝驱动正常，否则应检查灯丝驱动电路部分。有条件的情况下可以使用示波器观察一下灯丝供电的波形是否正确。如果灯丝工作正常，但是无显示，则应继续检查负高压部分工作是否正常。使用万用表测量负压输出部分，正常情况下应该至少有-18V的电压输出，如果没有电压输出或者输出电压不足，则应检查高压部分的电路。如果灯丝与高压部分工作都正常，屏幕依旧无显示，则应该检查 STF16360的焊接是否正确，单片机驱动STF16360的信号引脚的焊接是否正确。如果部分笔段显示不正常，应该重点检测STF16360的引脚焊接是否正确，LD8140屏幕的引脚是否氧化。如果电压都正常，但是笔段的显示非常微弱，则应该检查栅极电压是否正常，栅极包含一个调节亮度的PWM电路，要重点检查这部分电路的零件。

如果屏幕显示正常，但是时钟不走时，秒点不闪烁，请检查单片机的晶体振荡器引脚上的晶体振荡器是否振荡，用示波器应该可以看到振荡的正弦波，如果没有振荡信号，则应该检查晶体是否正常，两个配套的振荡电容的值是否与所使用的晶体振荡器相匹配。通电测试成功后如图8所示。

433MHz无线接收部分不需要调试，如果零件焊接没有错误，芯片没有损坏，即可正常工作。需要注意的是，如果使用板上天线，应该焊短路板上天线的连接跳线，否则应该通过天线孔焊接外部天线。调试无线部分时，可以通过板上的3个外接外部接收模块的插针来检测板上接收部分是否工作正常，只需要将DATA脚连接示波器，使用433MHz发射器发射一下信号，通过示波器看看是否可以观察到信号波形。在条件允许的情况下，也可以根据实际情况，直接利用插针外接外部的接收模块进行信号接收。

图8 通电测试成功

CDS部分的调试很简单，用手按照一定的程度遮挡CDS的感光面，屏幕的亮度显示会出现明显的变化，如果用手指按住CDS的感光面，即完全阻挡，此时屏幕亮度应最低。

红外线模块是否安装可根据个人需要进行确定，附带的HEX中由于受到ATmega8L内存的限制，红外模块的代码暂未写入单片机中，读者可自行开发。

3. 时钟参数调节

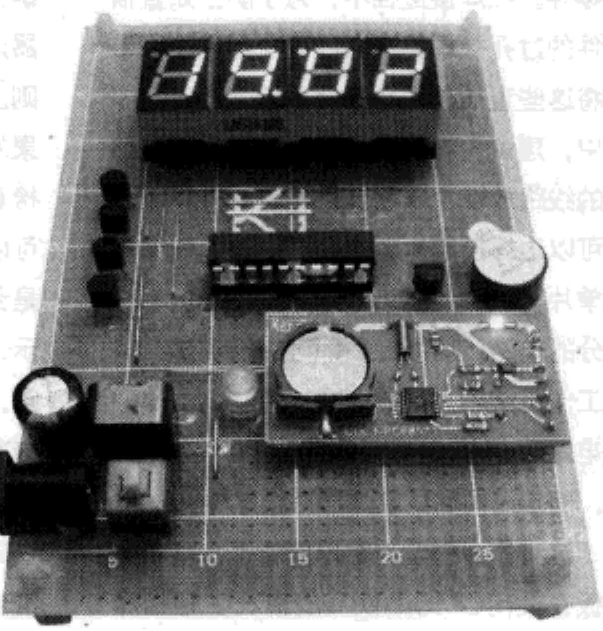
本时钟使用最简单的三键盘调节功能，分别是[+]、[-]、[SET]，正常显示状态下，按[+]、[-]键可在各种显示模式下切换，如时、分显示，秒显示，日期显示，闹铃显示等模式。任何一个具有可调项的显示模式状态下，长按[SET]键即可进入调节状态，此时屏幕显示闪烁，在调节状态中使用[+]、[-]键进行调节，长按[+]、[-]键可自动快速重复，按[SET]键进行调节项的切换。调整方法与传统的电子表基本一致。

小结

本制作对业余电子爱好者们的最大贡献是实现了一个由单片机为主的，以简单外围电路为辅的VFD驱动电路，爱好者们完全可以利用同样的电路驱动大致规格的其他VFD屏幕，只要灯丝电压要求在4.5V以下，高压要求在30V以内，基本都可以使用这一电路驱动起来，便于完成其他更多的VFD显示作品。

ELEJ-CDC1 创意数字时钟的设计

◇吴礼军



3个关于——关于时钟，关于RTC，关于ELEJ-CDC1

ELEJ-CDC1是一款创意型数字时钟（即Creative Digital Clock）。之所以说它是创意制作，其实就是使用常规的数码管和常见元器件，实现通常时钟具备的功能的同时，还通过硬件改进和软件设置，巧妙实现通常时钟不具备的功能——人性化用户体验。

时钟太常见了，是生活中极其普通的物品之一，我们只需瞧一下钟，就能说出时间，而且我们也把这看成是很自然的事情。功能完善的时钟可以计时间（Clock）和日期（Calendar），即年、月、星期、日、时、分和秒的实时参数。时钟有很多种，按照不同的分类标准可以分为不同的类型，对于按照模拟数字量分为传统的模拟时钟和数字时钟，这里主要分析一下数字时钟。

数字时钟可以由模块化的时钟电路实现，可以由数字门电路+时钟发生电路实现，也可以由控制器（单片机）+定时器实现，还可以由控制器+RTC芯片实现等，其实这里也不用“等”了，因为似乎没有其他方法了。你可能会说从网上下载一个时钟软件不也是嘛，哈哈，告诉你吧，其实这样的软件用的时钟信号是你计算机主板上的RTC芯片时钟或者集成在某个大规模集成电路内部的RTC模块提供的。

RTC即为实时时钟，它是可提供时间（通常也提供日期）的时钟器件。RTC通常包含一个可长期供电的电池，即使在没有电源供电的情况下也可以保持时间的跟踪。

先说说RTC芯片，有很多著名厂商和很多著名的RTC芯片，玩单片机的应该没有不知道DS1302、DS12887和PCF8523等的，RTC著名厂商有很多，比如Maxim（美信〈达拉斯半导体〉）、NXP（恩智浦）、Intersil（英特矽尔）等。笔者曾经使用过美信的DS3231用作智能电表的时钟计量，调过英特矽尔的ISL12022M，DS3231和ISL12022M，它们都集成了晶体振荡器，精度极高，且外围电路十分简单，基本无需外围元器件，其实DS3231和ISL12022M的功能也很相似、性能也差不多。恩智普的RTC芯片有很多款，比如本文要介绍的ELEJ-CDC1，使用的是PCF8523。PCF8523性能也很不错，使用的是I^2C总线与控制器连接，且是高速I^2C总线（Fm+），可以达到1MHz，在某些实时性要求极高的系统中非常适用。常见的PCF8523有SO8和TSSOP14封装，TSSOP14引脚间距较小，引脚排列很密，不容易焊接，大家可以选择SO8封装的，容易焊接。

制作实时时钟非常有趣，可以同时学会很多与界面显示相关的技术、控制器接口技术、数字处理技术和按键功能实现技术等，对于各种智能家用电器的显示界面设计有参考意义，例如冰箱、洗衣机、电磁炉等的显示界面。关于实时数字显示器件的选择，可以是LED、数码管、点阵屏、LCD等，实际学习可以逐个调试掌握、真正搞懂，然后独立开发基于控制器的项目就不成问题了（不骗你，真的）！

现在，我们就一起开始制作吧！

ELEJ-CDC1功能

1. 选用NXP的RTC芯片PCF8523，内部配置有补偿寄存器，可以通过软件补偿算法，保持长时间走时无累积误差，实现真正意义的“实时”。
2. 使用普通一位数码管通过硬件配置，实现时钟的“:”显示，制作器件容易采购。
3. 具有年、月、星期、日、时、分和秒实时显示功能。
4. 12/24小时显示，具有整点报时、按键操作音提示、闹钟功能。
5. 3个按键完成校时和闹钟设定，方便、快捷，可以进行秒参数的校准，各个项目时间和日期项目分别独立配置，闹钟时间配置使用组合按键实现。

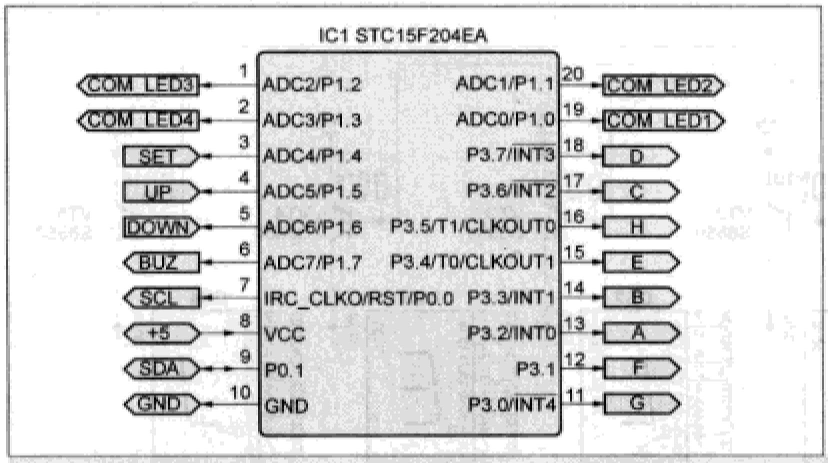


图1 控制器电路

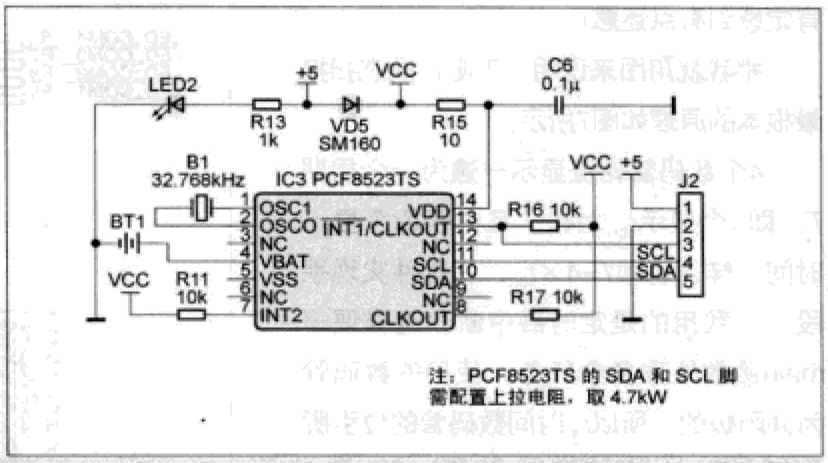


图3 PCF8523电路图

ELEJ-CDC1硬件原理

ELEJ-CDC1由6个模块电路构成：电源电路、控制器电路、RTC电路、数码管电路、蜂鸣器电路和按键电路，其中电源电路、数码管电路、蜂鸣器电路和按键电路与上一期介绍的ELEJ-IDBC1智能数字电池充电器设计中的电路设计方法和电路原理一样，只是数码管在实际的排列时有所不同，而且数码管选用的是1位的8段式数码管。

下面主要介绍控制器电路、RTC电路和特殊处理的数码管电路。

为了大家的制作方便，这个制作仍然使用STC的51控制器，ELEJ-CDC1使用的控制器型号为STC15F204EA，用DIP-20封装，电路连接如图1所示。STC15F204EA内部高精度R/C时钟，常温下温漂5‰，时钟从5～35MHz可选。这样我们就无需再外置晶体振荡器了。实际焊接在“洞洞板”上如图2所示。

RTC芯片用NXP的PCF8523时钟芯片，PCF8523电路图如图3所示。

图3中电阻R11、R16和R17是上拉电阻，因为PCF8523的INT2、INT1/CLKOUT引脚都是开漏输出，所以必须上拉，此外，SDA和SCL也必须上拉。仔细看看图3，你会发现在+5V电源和PCF8523的VDD之间接了VD5、R15和C6，有什么用，不接可以吗？很多时钟芯片都不接的呀！说说原因吧：仔细阅读PCF8523数据手册的典型应用一节，你会发现它提供的典型应用电路连接有R15和C6，它俩的作用是限制VDD的压摆率，如果VDD下降得过于快速，就不能确保内部电路可靠切换到备用电池供电，二极管VD5是为了防止电源反接烧坏PCF8523，PCF8523不便宜啊，烧的是钱呢！

注：电压转换速率（Slew Rate），简写为SR，简称压摆率。其定义是在1μs或者1ns的时间里电压升高的幅度，直观上讲就是方波电压由波谷升到波峰所需时间，单位通常有V/s、V/ms、V/μs和V/ns四种。电压转换速率用示波器就可以测量。

我使用的是TSSOP14封装的，由于芯片引脚很密，所以我腐蚀了一块转接板，实物如图4所示。注意：在制作中你可以使用SO8封装的，无转接板也可以焊接。

焊接上芯片，通电蓝色LED点亮，如图5所示。

数码管电路如图6所示。其实仔细看看原理图，和通常使用电路没有任何区别，设计方法与“ELEJ-IDBC1智能数字电池充电器设计”中讲述的方法一样，对，其实就是驱动电路的设计。

与通常使用不同的是数码管的放置方式。如何实现显示功能，以下详细说明一下。

对于动态扫描显示技术，几乎每本书、每个资料都会说“动态显示是多个数码管交替显示，利用人的视觉暂留作用，使人看到多个数码管同时显示。在编程时，需要输出段选和位选信号，位选信号选中其中一个数码管，然后输出段码，使该数码管显示所需要的内容，延时一段时间后，再选中另一个数码管，再输出对应的段码，高速交替。”如果你是初学者，

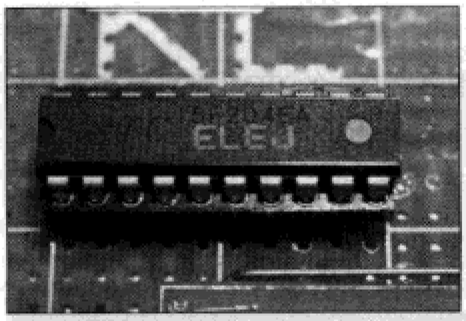


图2 控制器实物图

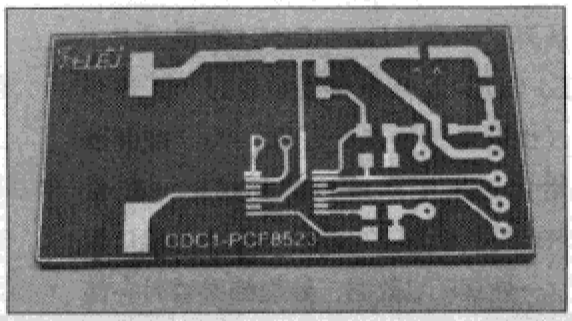


图4 PCF8523腐蚀板

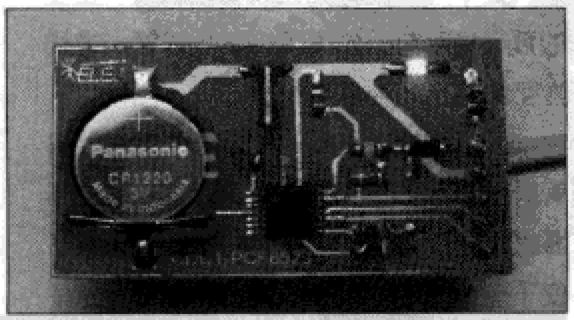


图5 PCF8523腐蚀板焊接实物

肯定感到有点迷惑！

那我就用图来说明一下吧！动态扫描最根本的原理如图7所示。

4个数码管轮流显示一遍为一个周期T，即4个显示t_{on}之和，且由于每个显示时间一样，也即$T=4\times t_{on}$，在软件实现手段上，我用的是定时器中断，这样便于main函数处理多个任务。使用的数码管为共阳极的，所以t_{on}时间数码管的位引脚为低电平（以数码管DS1为例：当LED_COM1=0，三极管导通，DS1选通，此时如果有段码数据加到A-H引脚，则DS1显示），即数码管显示，数码管会按照300μs的时间轮流循环显示，即：数码管1→数码管2→数码管3→数码管4→数码管1……，无限循环往复，由于“数码管1→数码管2→数码管3→数码管4”仅需要1200μs，即扫描频率833Hz，我们眼睛是分辨不了它们是在逐个显示的，我们可以看到的是每个数码管都完整显示。如果，你想仔细看看所谓的“扫描”是啥，你可以把T选得大一些，对应的$t_{on}=T/4$也大些，那样你就会看到数码管逐个显示，显示的界面会让你感觉很不舒服（一个接一个地闪烁显示）。

总结一下：我们调试数码管，说白了就是调试T（根据实际调试数据t_{on}约为1ms，显示效果也很不错，当然是越小越好了，扫描的速度足够快，给人的印象就是一组稳定的显示数据，不会有闪烁感），此外还要注意以下两个问题：

1. 所谓的“消隐”问题，当你更新显示的“段”的时候，显示的位置还是在前一时间的“位”上，然后你再更新“位”，这就出现移动的效果了。解决方法：显示下一位时先让数码管熄灭，在位的数码显示前，先关闭一下数码管，这样方可消除拖尾现象。

2. 驱动要足够，例如我在使用数码管时均使用了三极管驱动，尽管STC控制器I/O口可以配置为推挽输出，但是为了便于硬件移植，即51控制器通用，还是加了驱动，在实际制作调试时，你也可以

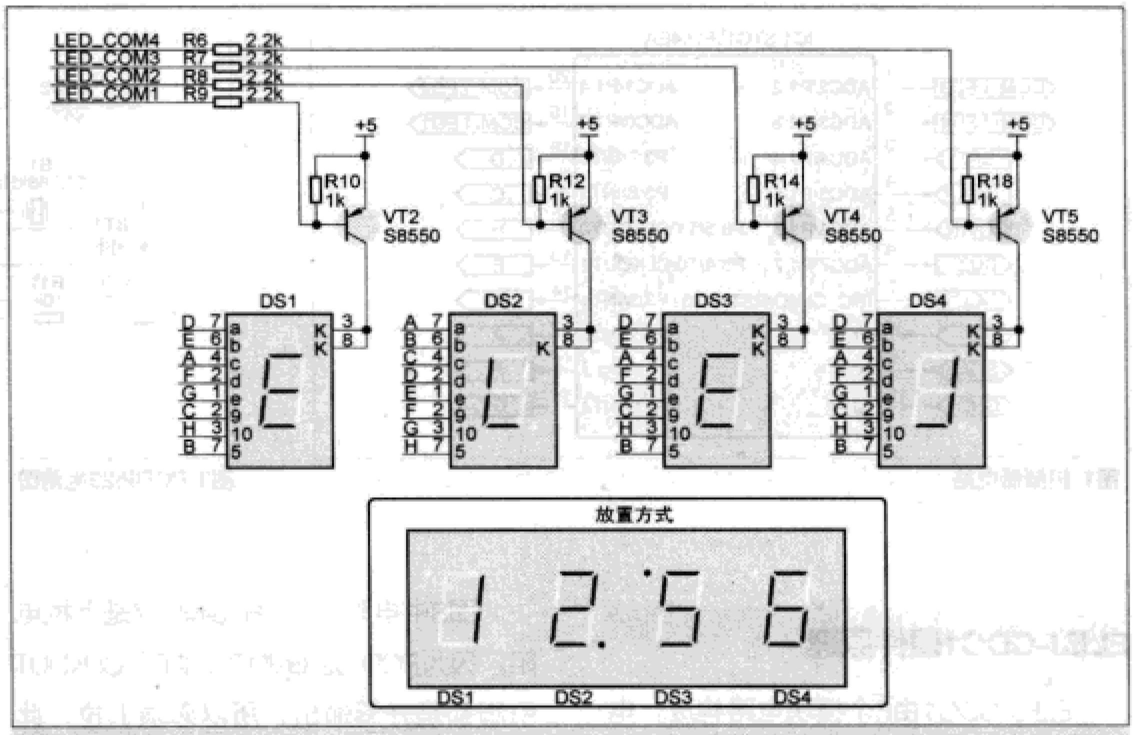


图6 数码管电路图

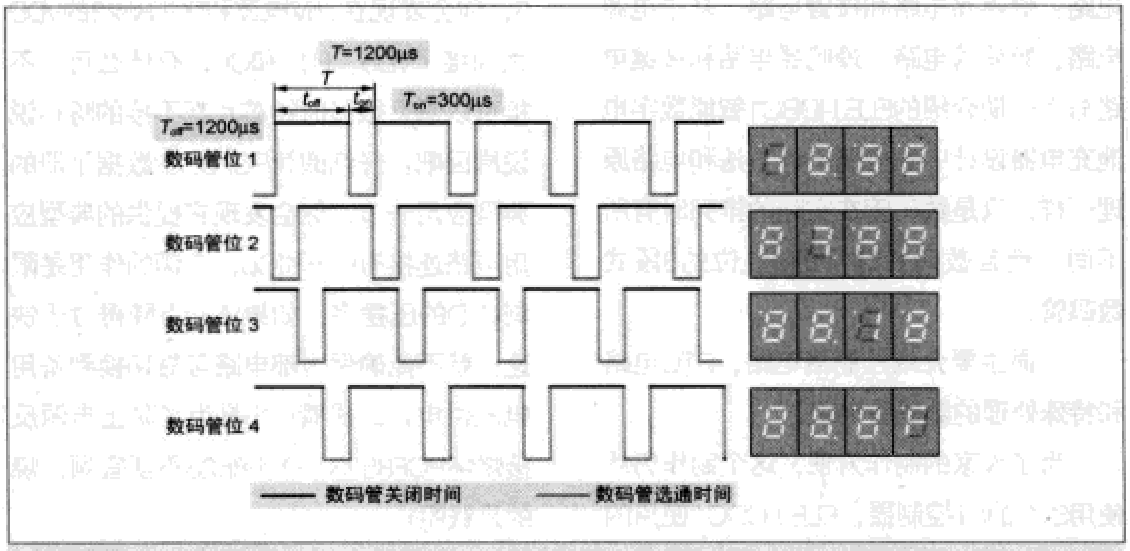


图7 数码管动态扫描原理

选择用STC控制器直接驱动。

ELEJ-CDC1创意数字时钟数码管实物如图8所示，整机电路实物如题图所示，焊接面如图9所示。

软件设计思路

这里我直接用文字叙述：在没有任何认为“干预”ELEJ-CDC1的情况下，ELEJ-CDC1从用户接通电源起，工作步骤（也就是软件执行过程）为“控制器初始化、某些系统参数初始化→配置PCF8523、获取RTC数据（通过I^2C接口读取）→处理RTC数据，处理结果暂时存储在控制器缓存中→通过定时器中断技术使控制器缓存中的RTC数据显示在数码管上→再读取新的RTC数据，处理数据，实时显示……”就这样只要用户不断电，ELEJ-CDC1就会“不知疲倦”地重复实时显示RTC的实时数据。

图8 ELEJ-CDC1数码管实物

然而，RTC芯片内部的数据在上电

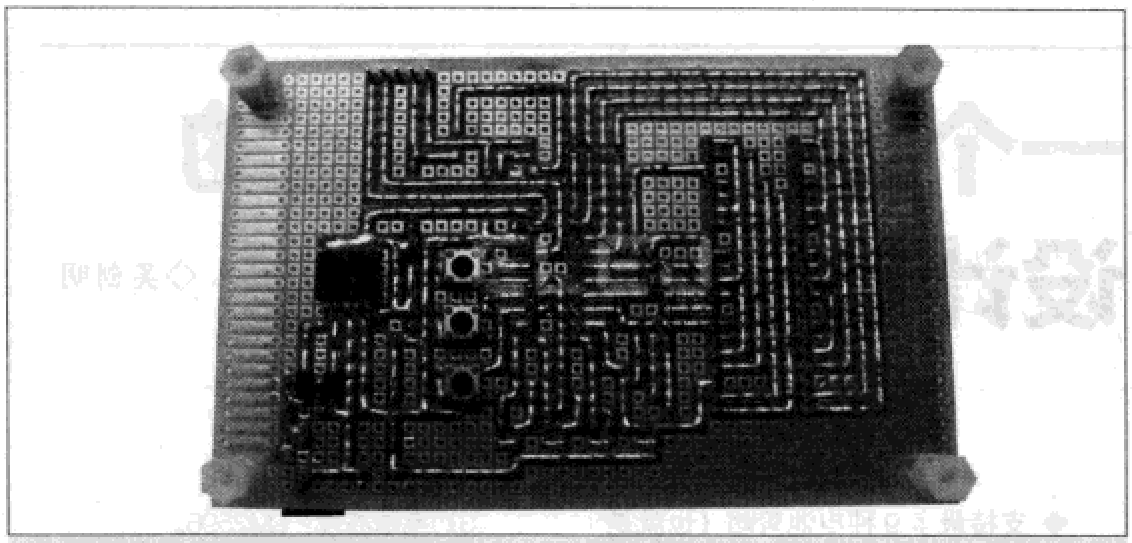


图9 ELEJ-CDC1整机焊接面实物图

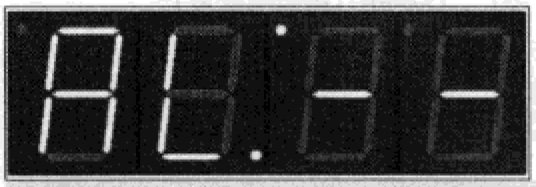


图10 “AL：--”界面

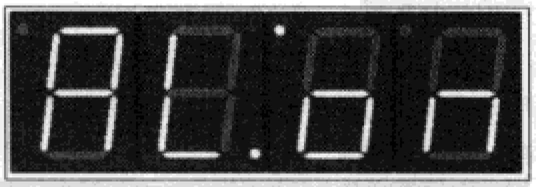


图11 “AL：on”界面

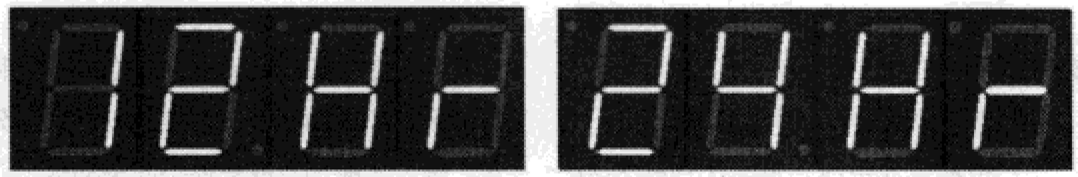
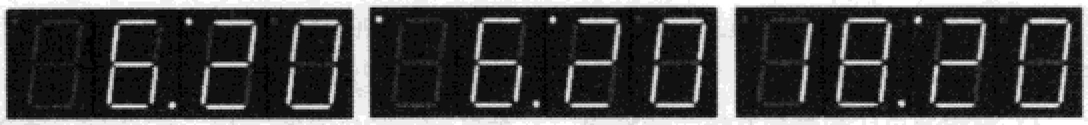


图12 “12Hr”和“24Hr”界面



上午6：20　　下午6：20　　18：20

图13 时间显示界面

图14 日期显示界面

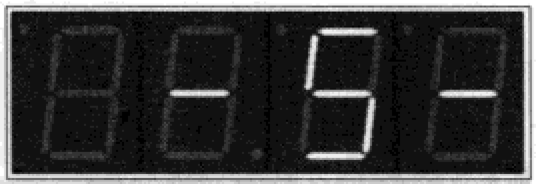


图15 星期显示界面

时，一般不会是当前的时间，怎么办呢？一般人都知道重新校准时间。其实，从PCF8523角度来看，就是重新向PCF8523内部时钟寄存器内写入数据，覆盖掉原始的不是当前时间的数据，然后PCF8523就从新的时间数据开始计时（时钟源就是那个32768Hz的晶体振荡器），这样，自然就需要一个校时程序，而且这个校时程序块不是一直运行，只有用户需要时才启动，所以就需要一个开关。开关？你可能会惊讶：“软件里面哪里有开关呢？”此时，如果你仔细想一想数字电路，是不是想起了0和1，就是啊，这个开关就用一个Bit变量实现，比如，变量为1时启动校时程序块，为0时运行时钟。记住一点，校时程序块和正常走时程序块在同一时间绝不可能同时运行！

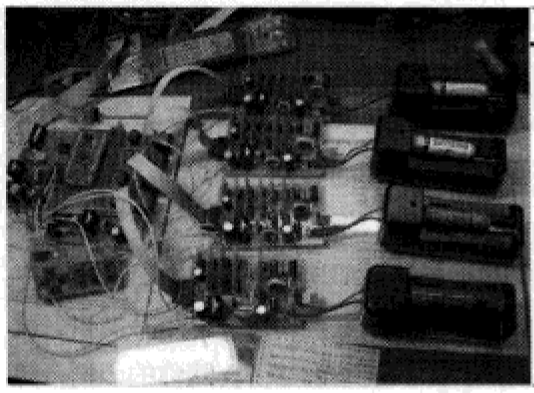
至于闹钟，也很简单，每读取一次RTC数据显示，程序就判断一次此时的时间和用户设定的闹钟时间是否一样，如果一样，那就“闹”吧！闹多久？程序开发者自行设置，如果开发者愿意，甚至可以让用户自行配置，如果你既是开发者又是用户，那我就不说啥了，随你的心情，随意配置吧！

读到这里，你是不是感觉ELEJ-CDC1总体脉络很清晰了呢！如果真的用心说是，那就好，你肯定可以独立调试ELEJ-CDC1了，而且，你还可以学习很多工程设计调试的方法。再说的犀利些：如果你仅仅是为了做一个ELEJ-CDC1，完全或者基本没有什么浓厚实物兴趣驱使你，你可能在调试时非常痛苦，甚至不能让ELEJ-CDC1正常运行。比如，你在调试ELEJ-CDC1时，你会彻彻底底地明白什么是数码管动态显示，为什么动态显示要用定时器中断，为啥不直接用延时扫描的方法，数码管不同界面切换方法，I^2C驱动如何写（后续我会仔细说），甚至蜂鸣器振荡频率如何选择……总之，我们喜欢电，我们可以在兴趣中提高能力和扎实掌握解决实际工程问题的方法。哇！说多了，不过这样的兴趣就是动力，可以很随意地步行10多里路去二手电子市场（偷笑）。

看几张数码管的界面图片吧！如图10~15所示。

好吧，这个版本的ELEJ-CDC1制作就介绍到这里吧，其实如果想再加其他功能，真的有点难，因为4K字节ROM空间的STC15F204EA放不下了，我就遇到此尴尬，不然ELEJ-CDC1最后一位本来打算用作“℃”显示的数码管就不会没用上，我的代码中，数码管段码就没有全部放在code内，否则连闹钟功能也没了。反正我们以后会让ELEJ-CDC1升级的！

■ 对本制作感兴趣的读者可到本刊网站www.radio.com.cn下载相关程序及完整的电路原理图。



一个全功能充电器的设计与制作

◇吴创明

鉴于目前电子设备的充电接口不同，几乎每一个电子设备都会有一个相应的充电器，我家里就有各种充电电池，多数是5号镍氢电池，还有锂电池（18650和手机电池），玩具车电池，以及一些不同容量和电压的电池，那么有没有一种充电器能够兼容这些不同型号的电池为其充电呢？抱着这样的想法，我开始自己研究制作一个全功能的充电器。从刚开始策划，到做出这个充电器，耗尽了我3个月的所有晚上和周六日，痛并快乐着……

我要做的这款全能充电器要达成怎样的效果呢：

◆ 可以充镍氢电池、锂电池等，实际上，充什么电池并没有限制，比如，通过参数的设定，同样可以充碱性电池。

◆ 可以单独充电、单独放电，还可以组合，比如镍氢，就可以采用充900mS、放16mS的充电方式。

◆ 可以更换扩展板，以适合不同的电池和不同的充电模式。

◆ 所有的参数（比如充电电流、检测时间、Delta值等）都可以通过上位机来设置。

◆ 有非常丰富的电池通道信息，包括电池电压、充电电流、温度、PWM信息、AD信息、状态、时间等。

◆ 有LCD和键盘，自带强大的LCD菜单，某些简单常用的参数可以不通过上位机来设置。

◆ 支持USB连接，方便将所有的信息上传到上位机来做绘图和分析，USB通信不影响充电状态。

◆ 支持最多9种电池策略（也就是说，可以支持9种电池或组合等），每个通道单独控制。

◆ 支持充电模式，监控模式（监控电池电压，电池温度等，不进行充放电控制）和菜单模式。

电路原理

这款全功能充电器的关键电路原理图如图1所示，工作流程如下：

1）先检测驱动板，识别电池。

2）检测电池电压，低于0.1V视为无电池。

3）刚放入的电池，如果电池电压低于预充电界线，则进入预充模式，并启用预充模式，小电流充电。

4）当电池电压超越预充模式和检测时间，则进入快速充电模式，使用大电流充电。

5）当电池电压超越涓流模式和检测时间，则进入涓流充电模式。

6）如果策略中有设置Delta值，则还需要检测Delta值才能进入涓流模式。

7）当电池的充电时间到达最大值，则停止充电。

8）当电池在规定的时间内，达不到电压变化值，则视为电池损坏，启动报警（不影响其他通道电池）。

硬件部分

硬件部分所需材料清单如下：

1）主芯片：STM32FC8T6。

2）配置芯片：AT24C04。

3）电源芯片：LM2596。

4）运放：OP07（电压和电流监控），LM358（绝对值运算）。

5）PWM方向：74LV244。

6）负压：ICL7660。

7）MOSFET：50N03。

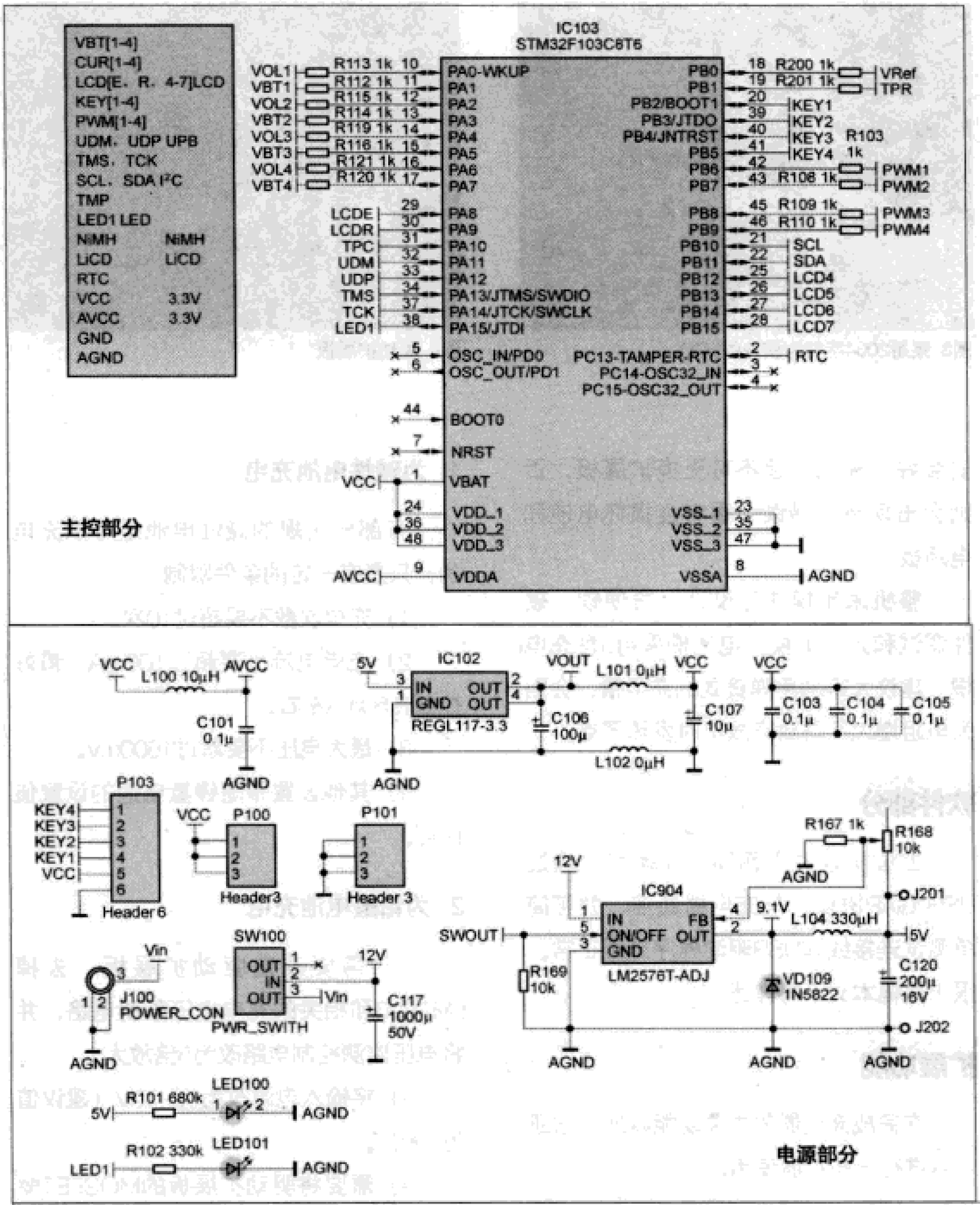
除了MCU核心板和LCD之外，其他板都是手工制作的。采用模块化制作的方式，将各个部件分开。按功能划分的话，分别为：主控板、驱动板、LCD显示板和键盘板，如题图所示。主控板与驱动板分开，是为了能加入或更换不同驱动板，以适合不同的充电模式和充电电池。

主控板采用ST公司的Cortex-M3芯片：STM32F103C8T6，这是个性能很不错的芯片，主频可达72MHz，拥有64KB的Flash和20KB的RAM，10个ADC通道（12Bit），3个16位定时器，1个USB接口等，如图2所示。

主控板输入电源为12~19V，电源管理采用LM2596，共有两路，一路转为5V，供核心板、LCD、电压基准、继电器等使用，另一路转为9V，供驱动板各个运放使用。

主控板电压基准采用TI公司的TL431A，输入为5V，输出为2.5V。因ST公司的STM32F103系列都不带EEPROM，所以另外增加了一个存储芯片AT24C04，用于存储参数设置值。再通过74LV244来控制PWM的方向来达到充电和放电的功能。

另外，为识别不同的驱动扩展板，我采用了ADC加识别电阻（驱动板上）的方



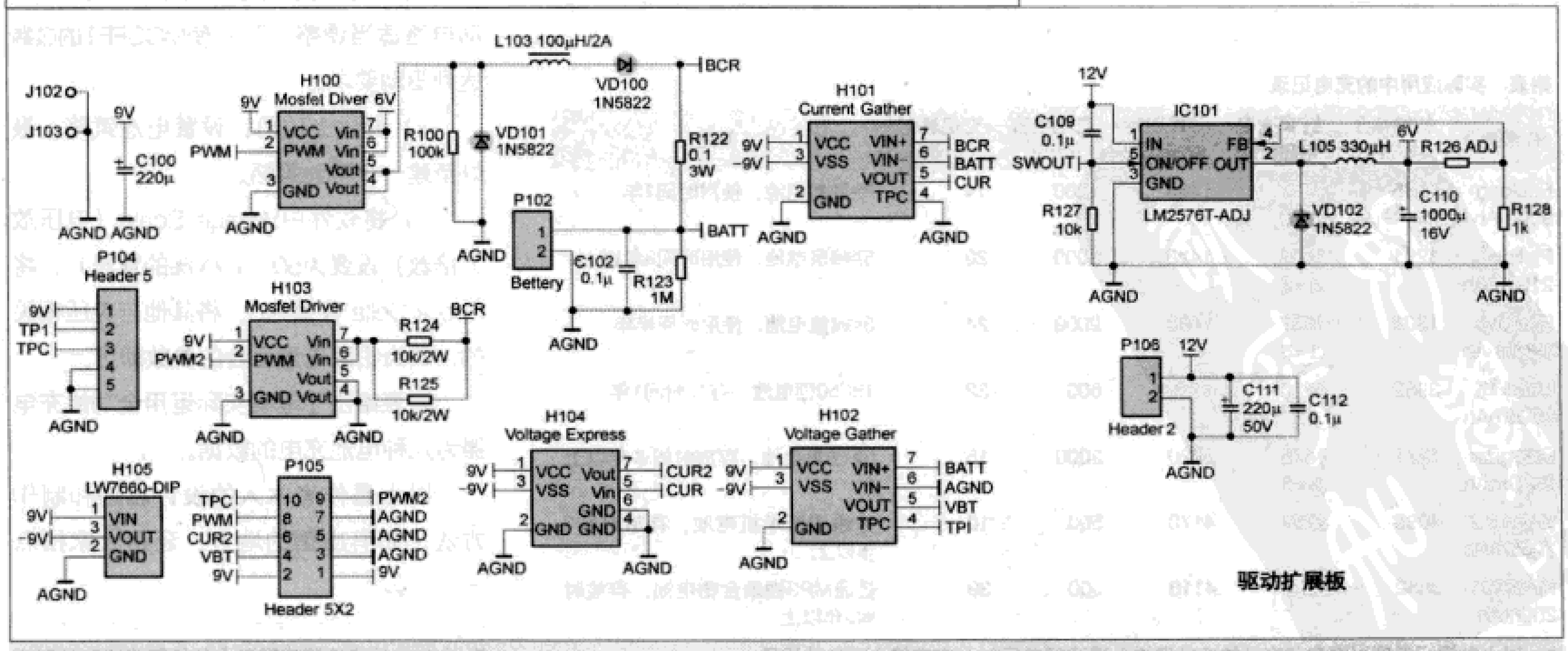


图1 几个关键部分的电路原理图

式。因STM32FC8T6的ADC通道不够用，所以采用微型继电器（5V）来实现ADC通道切换。

LCD采用2004字符型模块，5V供电，可以显示4行字符，每行20个字符，如图3所示。这样就可以同时显示4个通道的基本充电情况，包含充电状态、电池电压、充电电流等。

除了可以显示四通道基本情况，还可以通过键盘来选择单个通道的显示信息。单个通道的信息非常丰富，足足有5页之多，其中包括电池电压、充电电流、电池状态、电压变化值、PWM值、Delta值、ADC值、驱动扩展板信息和时间控制等。

键盘带有4个方向键和6个功能键，支持LCD的菜单。4个方向键，在选择菜单和选择通道信息的时候特别有用。右边的功能键分别是充电模式启动键、监控模式启动键、停止键、确认键、取消键和菜单键。

驱动扩展板因电池而异，本次制作的驱动板仅适合4.5V以下的电池，包括镍氢和锂电池，如图4所示。驱动板通过尾端的识别电阻来告诉主控板，它适配的电池是什么电池，并通过电压跳线，来控制监控电压的倍数。

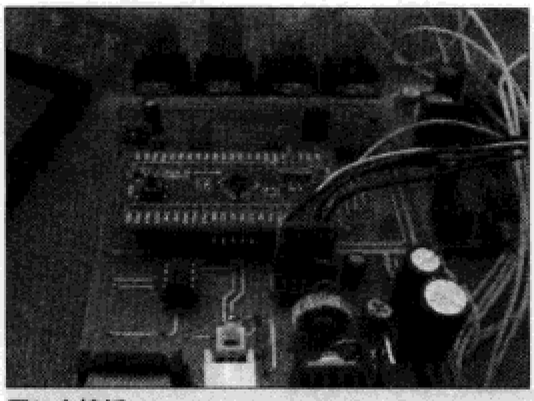


图2 主控板

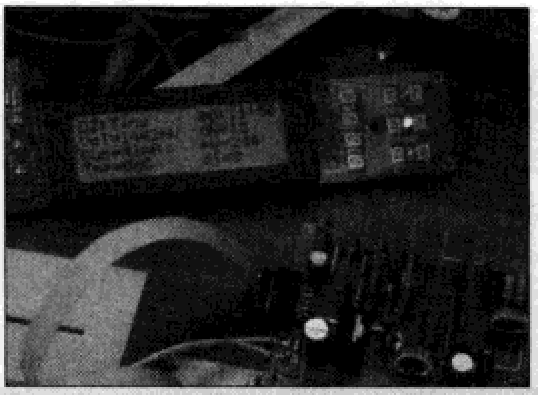


图3 采用2004字符型模块的LCD

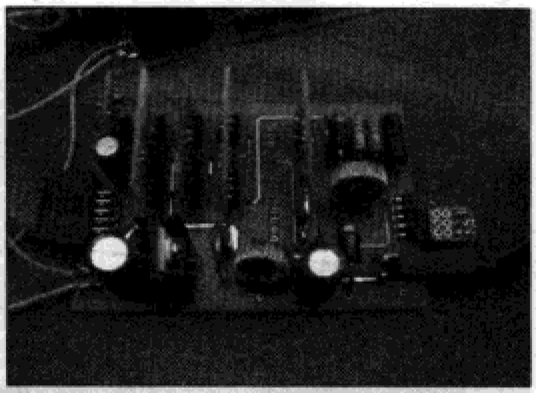


图4 驱动扩展板

驱动板的输入电压跟随主控板输入电压，输出电压通过LM2596转为6～7V，供充电模式使用。充电电流最大2A，放电电流最大1A（仅受驱动板硬件限制）。

驱动板的运放正电压来自主控板的9V，负电压通过板上自带的ICL7660转为-9V来供给。MOSFET的驱动电压同样需要输入电压的支持。

驱动板的电流采样电阻为100mΩ/3W进口电阻，放电功率电阻为10Ω×2/2W，充放电采用PWM控制。

一个主控板最多可以带4个驱动扩展板，最少可以只带1个。每个通道采用单独充电策略控制，不会影响其他通道。通过识别电阻，最多可以适配9种不同的扩展板。扩展板必须在充电器启动之前安装好，充电中途不可更换扩展板，否则会出现充电错误，重者会损坏电池和电路板。

整机采用模块化设计，方便软、硬件调试和元件更换。电池槽采用3盒充电槽，建议大家勿用弹簧式的充电槽，会因为电阻增大而导致充放电时发热严重。

软件部分

上位机软件采用Delphi编写，通过USB-GAP协议，与充电器通信，并可简单测试连接线和USB驱动程序是否正常。限于篇幅本文不再详述。

扩展功能

在完成充电器的主要功能以外，它还可以进行一些扩展使用。

1. 为碱性电池充电

有部分正规的碱性电池是可以充电的，只是有一定的条件限制：

1）充电次数不要超过10次。

2）充电电流不要超过100mA，最好控制在50mA左右。

3）最大电压不要超过1600mV。

4）其他设置跟随镍氢电池的设置值即可。

2. 为铅酸电池充电

1）需要改造驱动扩展板，去掉LM2596和相关的充电电压限制电路，并将电压监测控制电路改为5倍放大。

2）将输入电源改为16~19V（建议值为19V）。

3）需要将驱动扩展板的MOSFET驱动电路适当调整一下，使MOSFET的G端达到驱动要求。

4）通过上位机，设置电池策略，最好新建一个电池策略。

5）将软件中Voltage Scale（电压放大倍数）设置为500（500%的意思），将Check Delta 设置为0。将其他与电压相关的，改为铅酸电池适合的参数即可。

附表给出了笔者实际运用全功能充电器为几种电池充电的数据。

以上是作者本人的设计思路和制作方法，如有出错的地方，还请大家指点一二。

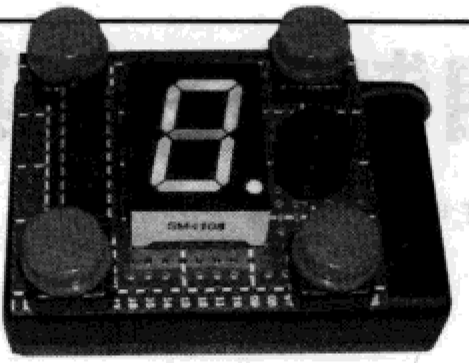
附表　实际应用中的充电记录

电池类型	初始电压(mV)	结束充电电压(mV)	最终稳定电压(mV)	充电电流(mA)	充电耗时(min)	备注
Enelong 900mAh	1285	1517 Δ=3	1465	1000	14	7#镍氢电池，使用时间1年
Philips 2100mAh	1281	1504 Δ=3	1428	2000	20	5#镍氢电池，使用时间3年以上
Eneloop 1900mAh	1392	1537 Δ=3	1469	2000	24	5#镍氢电池，使用时间半年
UltraFire 3000mAh	3962	4220	4136	500	32	18650锂电池，存放时间1年
Energizer 2000mAh	1271	1475 Δ=3	1420	2000	15	5# 镍氢电池，存放时间 3 年以上
Li-ion 3.7 1050mAh	4098	4234	4170	500	10	普通铝壳手机电池，存放时间3年以上
HF16001 200mAh	3652	4220	4118	500	39	普通MP3锂聚合物电池，存放时间3年以上

注：以上数据记录皆以充电状态从快充状态进入涓流状态后5min左右停止充电并记录。

■ 本制作的完整原理图及上位机程序或固件程序可到本刊网站www.radio.com.cn下载。

DIY按键式电子骰子



◇王千涛

过年期间在家休息，儿子时常吵闹着要我陪他玩飞行棋游戏。在陪儿子玩游戏的过程中，我突发灵感，能不能制作一个电子的骰子呢？经过一番思考以后有了如下的想法：普通的骰子只有6个面，分别代表1~6点，而我要制作的电子骰子采用1位的数码管来显示，并且可以显示出0~9共10个不同的点数，增加了游戏的趣味性，普通的骰子靠人用手投掷出不同的随机数来，而我制作的电子骰子用按键的方式触发单片机随机产生不同的数，普通的骰子投掷后落在桌面上有一个翻滚的动作和撞击的声音，我制作的电子骰子也有一个显示生成随机数的过程和声音，并且采用电池供电，可以到处移动使用。

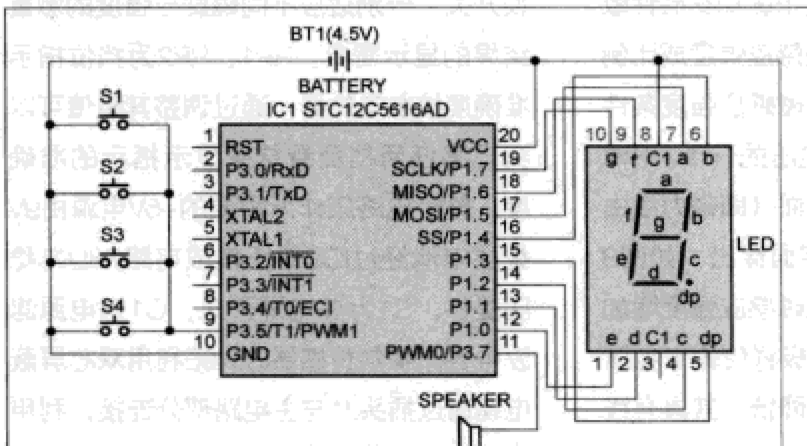


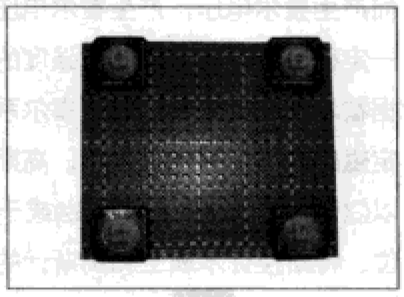
图1 电路原理

这个小制作所用到的元器件很少，制作也十分简单，它的原理图如图1所示。

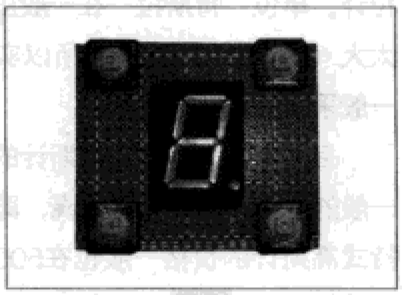
为了尽量减小体积，方便随时移动使用，我尽可能地将电子骰子做得很小，采用的是20脚的单片机，并且使用单片机内部的振荡器工作，数码管用的是1位共阳数码管，由单片机的引脚直接控制数码管的显示，4个按键并联设计，相当于1个按键。具体制作方法如图所示。

现在，有空时可以主动找儿子玩一玩飞行棋游戏了，真是其乐无穷！

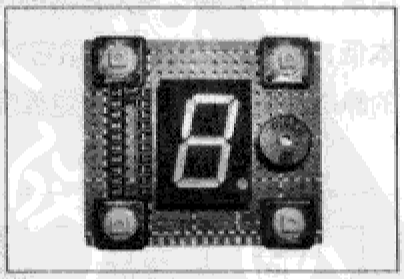
1 将4个按键分别焊接在洞洞板的4个角上。



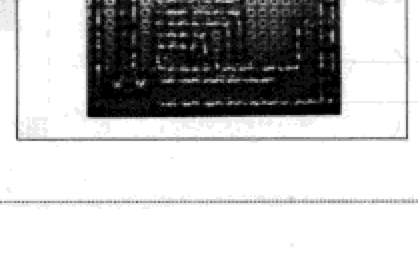
2 再将数码管焊接在洞洞板的中间位置。



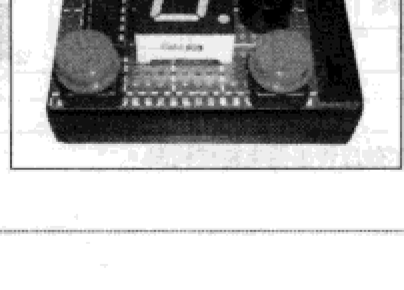
3 在数码管的左右两侧分别焊接蜂鸣器和单片机插座。



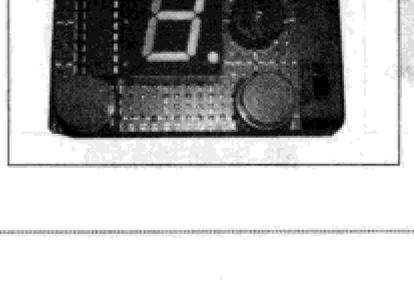
4 在洞洞板的反面按照原理图将各器件的相应引脚连接起来，在本制作中通过合理巧妙的布局未使用一根飞线。



5 最后用双面胶将作好的线路板贴在电池盒上。



6 通电，按任意一个按键，就会产生随机数了。

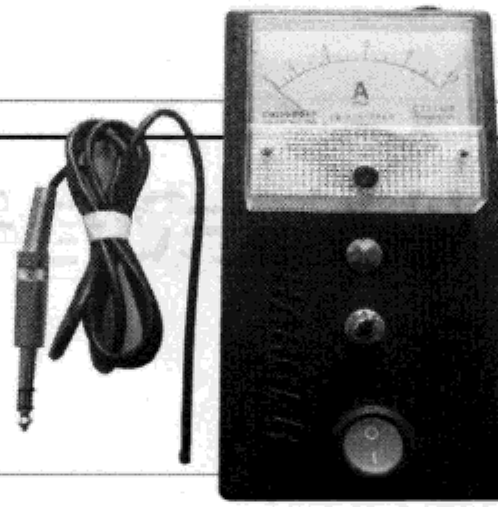


网上有视频链接：http://www.tudou.com/programs/view/XHzkJPSChfM/

本制作所需单片机程序及将程序写入单片机时的图示说明可到本刊网站www.radio.com.cn上下载。

自制简易高斯计

◇王明英　姚宗栋



高斯计是利用霍尔传感器测量磁感应强度的仪器，由霍尔探头和测量仪表构成。霍尔传感器在磁场中因霍尔效应而产生霍尔电压，产生霍尔电压的大小在一定程度上反映了磁感应强度的强弱，根据霍尔电压公式和已知的霍尔系数便可确定磁感应强度的实际大小。高斯计的读数以CGS单位制中的高斯(Gs)或千高斯为单位。特斯拉计本质上和高斯计的作用是一样的，也是测量磁感应强度的仪器，只是显示测量结果时使用的单位不同，采用SI单位制中的特斯拉(T)为单位，因此叫特斯拉计。单位“特斯拉”在一般应用中显得太大（1T=10000Gs），所以实际应用时一般采用毫特斯拉为单位。

目前市场上销售的高斯计的价格对于一般的电子爱好者来说偏高，即使简易手持式高斯计的价格一般也在500元左右，而性能好一些的台式高斯计价格更在数千或上万元。本文介绍一种适合电子爱好者自制的简易高斯计（如题图），电路非常简单，所用元器件均为常用器件。制作成本低，在10元左右。利用它可以对常见的静态（恒定）磁场在一定程度上进行比较准确的测量，满足一般业余条件下对磁感应强度的测量要求。下面把制作的方法和注意事项进行简单的介绍。

电路原理

本制作的电路原理非常简单，如图1所示，磁感应强度的检测任务由IC1霍尔传感器SS49E完成。SS49E是一块线性霍尔效应集成电路，为小型、通用、线性霍尔效应传感器，其内部电路结构如图2所示，其输出信号电平取决于施加在器件敏感面的磁感应强度，随磁感应强度成比例地变化。当SS49E处于零磁感应强度条件时，其输出电压是电源电压的一半。S磁极出现在SS49E商标印刷面（即磁力线由无字面进入元件并从有字面穿出，如图3所示）时，输出电压将随磁感应强度增加而线性升高，反之，N磁极将使输出电压随磁感应强度增加而线性降低。其具有线性度好（如图4所示）、灵敏度高、功耗低、输出阻抗低的特点。在本电路中其磁感应强度测量信号输出端在5V工作电压下，零磁感应强度时保持在2.5V左右。其信号输出端直接连接到磁感应强度指示表头M1的一端，指示表头M1的另一端接在由三端精密电压基准集成电路IC2和R1、RP3、C2组成的2.5V基准电压稳压电路，通过调整RP3可以精确调整2.5V基准电路的实际稳压输出值，使其和霍尔传感器SS49E信号输出端的实际电压保持一致，使在零磁场时加在指示表头的信号电压为0V，避免表头在零磁场时因加在其两端的静态电压不同而导致指针偏移，出现调零误差。S2为测量结果显示高低挡位切换开关，分别适应不同磁感应强度的测量结果的显示需要。RP1、RP2为挡位指示准确度校准电位器，通过调整其阻值可以实现高低两挡测量结果显示指示的准确度。整个电路工作所需要的+5V电源由9V叠层电池经过IC3稳压集成电路78L05稳压提供。S1为总电源开关，C1为电源滤波电容。霍尔传感器SS49E利用双芯屏蔽电缆通过插头J1与主电路部分连接，利用屏蔽线的屏蔽网线作为地线，一股芯线为SS49E提供正常工作所需的+5V电源，利用另一股芯线将SS49E输出的磁场强度电压信号传送给指示表头。

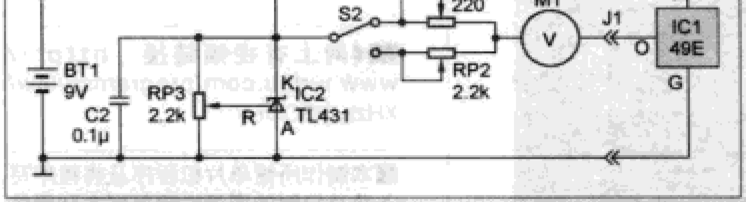


图1 简易高斯计电路原理图

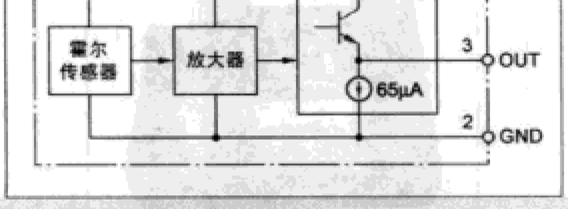


图2 霍尔效应传感器电路结构图

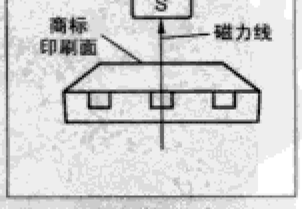


图3 SS49E磁场方向

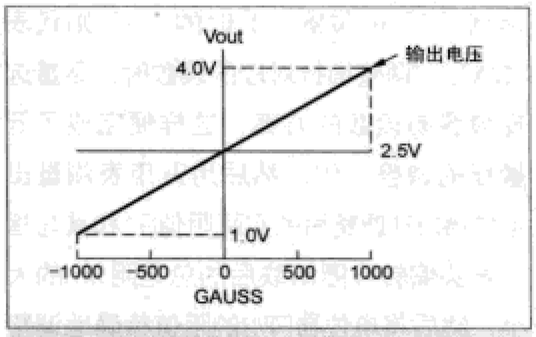


图4 SS49E输出电压特性

元件选用

制作时尽量选用质量较好的元器件。磁场强度检测探头内的霍尔传感器尽量选择线性范围宽的线性霍尔传感器件，而不能选用开关型的霍尔传感器件。本制作中采用了常用的SS49E型线性霍尔传感器件，如在电子市场无法购到，则可以从机械结构损坏的电动车调速手柄里拆得。虽然其对于磁感应强度的最大线性测量范围仅为±1000 Gs，但通过采用适当的测量手段，同样可以满足一般电子制作中的磁感应强度测量需要。本制作中采用的SS49E为单排直插的TO-92S(扁平型)封装。当然条件允许可以选用磁场强度线性测量范围更宽的其他型号的线性霍尔传感器件。

虽然现在各种测量仪表数值显示部分电路已经全面向“数字化”发展，但是为了制作的简单实用，以及实际测量指示精度的需要，并没有选用显示结果更直观的数码显示方式，而是选用指针式表头来显示测量结果的数值大小。为了提高测量结果的指示精度，不要选用小型的劣质指示表头，而应选用体积较大、精度较高的电压或电流指示表头，将其内部的电压、电流信号取样转换电路拆除，只留下相应的偏转线圈部分即可。因为偏转线圈部分的机械结构较为精密“娇气”，所以拆除电路进行改制时一定要注意尽量不要触及偏转线圈部分，以免造成指示精度下降或损坏！本制作选用了一块中型大小的电流表头改制，如图5所示，其满幅度刻度为10A，而且刻度盘的标识比较均匀，利于读数的判读。为了降低制作难度，本制作利用SS49E磁感应强度信号输出端的电压信号直接驱动表头，虽然SS49E的输出阻抗较低，可以输出一定的电流驱动负载，但为了降低其负担，在选择表头时还是尽量选择内阻大、灵敏度高的型号。

因整机使用时一般是间断性的工作，而且工作时消耗的电流较小，所以为了使用方便采用电池供电，电池选用常见的9V方形6F22叠层电池。电源开关S1因工作于低电压小电流，所以任何单刀单掷开关都可用。因为电源开关上本身标有工作状态指示标志，所以为了节省整机耗电，取消了工作状态指示发光二极管显示部分。测量量程转换开关S2选用常见的单刀双掷开关即可。

三端稳压集成电路IC3选用TO-92封装的静态电流较小的78L05。IC2选用TO-92封装的三端精密电压基准集成电路TL431。RP3选用精密多圈可调电位器，可以精确调整基准电路的稳定电压，使其和SS49E信号输出端的电压值保持精确的一致，使表头指针在零磁场状态下精确地指示在0刻度。RP1、RP2同样选用阻值适当的精密多圈可调电位器。

插头J1选用双芯插头，为保证可靠的电气连接性能，尽量选用6.35mm系列的大型双芯插头，如图6下部所示，而不要选用3.5mm系列的小型插头。同样与其配套的双芯插座也选用6.35mm系列的优质双芯插座（如图6下部所示）。探头连接电缆选用普通的屏蔽效果良好的双芯屏蔽电缆。

制作方法

因为电路非常简单，对电路板的制作也没有严格的要求，为了制作的简便并没有专门设计制作电路板，而将大部分元件安装在一块大小适当的万能电路板上，直接连线焊接制作，这样并不影响仪器的性能以及最终使用时的测量精度。制作中所用到的3个集成电路的管脚功能如图7所示。

图5 用于改制的电流表表头

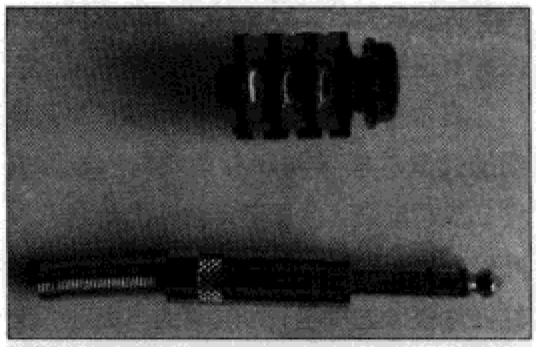


图6 双芯插座（上）与大型双芯插头（下）

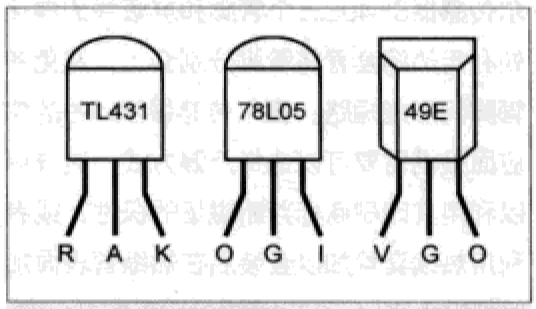


图7 集成电路的引脚功能

整机外壳采用的是电动车充电器的塑料外壳，将其内部的电路板以及散热风扇、连线等全部拆除，并对其内部和外部进行仔细的除尘清洗。然后根据内部电路布局需要和所选用各元器件的体积大小以及位置固定的需要，在塑料外壳上标出各需要开孔的位置和大小轮廓后，用电钻小心地钻出各个部分需要的固定安装孔。所有开孔工作尽量一次完成，避免安装好指示表头后再进行钻孔，因为电钻钻孔时产生的强烈振动和冲击有可能会在一定程度上损坏指示表头的机械偏转系统，造成指示误差或指示表头的彻底损毁。在安排各

部分布局时要注意以下几点：（1）为了保证指示读数的准确性，指示表头的标准安装方式一般是垂直状态，（2）霍尔探头插座的位置要保证测量时探头与主机的连线没有迂回缠绕现象，（3）各开关的位置要便于操作，（4）机内各部分的连线尽量短，信号线路走向清晰流畅，尽量避免迂回交叉。本制作采取的内部布局如图8所示。

钻孔完毕后，用热熔胶将电池等适当固定，电路板可以临时不固定，等到整个电路全部调试完毕后再加以固定。然后将电路板和各部分元器件按照电路原理图加以准确连接。

霍尔传感器件SS49E利用双芯屏蔽电缆通过双芯插头和双芯插座与主电路连接。双芯屏蔽线的屏蔽网线作为地线，屏蔽网内的一根芯线作为主电路板向霍尔传感器件SS49E提供+5V供电的电源线，另一根芯线将SS49E信号输出端的反应磁感应强度变化的电压信号传回主电路板。霍尔传感器SS49E三个管脚和屏蔽线的焊接处利用热缩套管将管脚分别套上，避免各管脚间形成短路。霍尔传感器SS49E的感应面根据需要可以选择外漏方式，这样可以利用其印刷商标判断磁场的极性，或者利用热缩套管加以套装后在热缩管表面加以标记也可以。

整个电路部分的连接工作完成后，将霍尔探头的插头插入主机插座，将测量表头保持垂直放置，旋转表头机械调零螺丝，如图5所示，使指针准确地指到零刻度位置。调整好后，左右摇晃一下指示表头使指针偏离零刻度位置，然后观察其是否可以准确回归到零刻度位置，反复几次，如果其静止时可以准确地指示到零刻度位置那说明它基本合格。然后打开总电源开关，将测量量程转换开关置于低挡位，将霍尔探头远离任何磁性物质并适当加以固定，然后缓慢调整表头电路调零电位器RP3，使偏离零刻度位置的指针缓慢向零刻度靠近，直到准确地指示在零刻度位置。同机械调零方式一样，尽量反复调整几次，直到指示准确。如果不论怎么调整RP3指针都不能指示到零刻度，则可能是电路接线错误，或元器件存在故障。因为经过制作时的一次性电路调零工作后，在以后使用时并不需要经常进行电路调零工作，所以没有将电路调零电位器RP3的调整端装到外壳上易于调整的部位，而是将RP3直接固定于机内的电路板上。

指针调零工作完成后，将霍尔探头采取适当的方式加以固定，并将一磁铁慢慢靠近霍尔探头，同时注意观察指针的偏转情况，如果指针向反方向偏转，则调换磁铁的极性使指针向正方向偏转，逐渐将磁铁靠近霍尔探头，直到表头的指针指示到靠近刻度盘的中间位置。然后保持霍尔探头和磁铁的位置固定不变，利用万用表测量霍尔探头信号输出端和量程转换开关S2公共端的磁场强度信号输出电压*Vg*的数值大小（假设为140mV）。利用SS49E的性能参数查找出其标准灵敏度值为1.4mV/Gs，利用此值和测量的霍尔探头信号输出端的电压值*Vg*，便可以计算出实际的磁感应强度高斯值Gg=140/1.4=100Gs。然后调整电位器RP1，使表头指针指示到相对应的数值（本制作采用的表头为“10”）上，由于所采用的表头的指示刻度标注数值和形式的多样性，调整RP1时，可以灵活掌握指针对应的数值，比如也可以将指针对应指到“5”的位置，此时的“5”则代表100Gs。调整指针对应的读数时，尽量选择最容易读数的方案，这样便完成了低量程的调整工作。然后用万用表测量出电位器RP1调整后的实际阻值*R*1和其与指示表头偏转线圈串联后的总电阻*R*m的大小，然后将电位器RP2的阻值精确地调整到9*R*m+*R*1的大小，即完成了高挡位的指示调整工作。这样调整完后高挡位的满刻度显示数值将为低挡位满刻度显示数值的10倍，其高挡位的最大测量范围为1000Gs，正好和SS49E的最大线性测量范围相对应。当然也可以利用上述方法将两个量程的倍数关系设定为5倍或2倍，具体各量程显示范围的确定，根据所采用表头的偏转灵敏度情况和实际需要以及测量结果的易读性来确定。

两个量程的调整工作完成后，调整磁铁和霍尔探头的相对位置，使指针指示到不同磁感应强度大小的位置，并且切换量程转换开关的状态，检验指针在两种量程指示状态下指示的准确性，以确定调整工作的效果。如指示偏差较大，则重新调整电位器RP1、RP2的数值，直到两个量程状态下都可以获得比较准确的磁感应强度指示读数。

以上调整工作完毕后，将主电路板利用螺丝或热熔胶加以适当地固定。各部分连线也利用热熔胶加以固定。然后将机壳

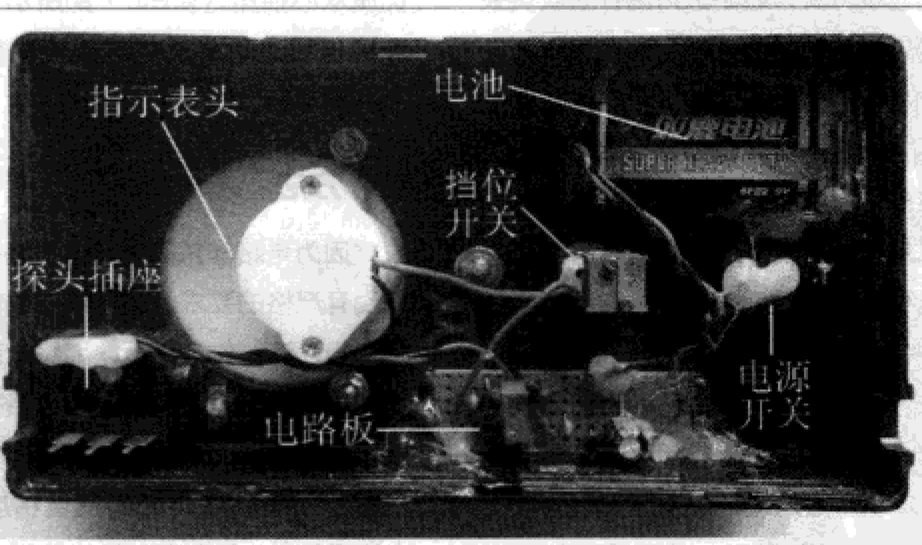


图8 整机内部布局

霍尔效应

美国物理学家霍尔(Hall·Edwin Herbert,1855-1938)于1879年在研究金属的导电结构的实验中发现：当电流(*I*)垂直于外磁场(*B*)并通过一个位于磁场中的导体的时候，磁场会对导体中的载流子产生一个垂直于电子运动方向上的作用力（洛仑兹力），载流子因为受到洛仑兹力的作用而使运动轨迹发生偏移，并在材料两侧产生电荷积累，形成垂直于电流方向的电场，最终使载流子受到的洛仑兹力与电场斥力相平衡，从而在导体的垂直于磁场和电流方向的两个端面之间会出现电势差(*U*)，即霍尔电压。这种现象被称为霍尔效应，所产生的电势差也被叫做霍尔电势差。

霍尔效应是磁电效应的一种，后来发现除了在金属中存在这一效应外，半导体、导电流体等也有这种效应，而半导体的霍尔效应比金属强得多。根据霍尔效应，人们用半导体材料制成的元件叫霍尔元件，广泛地应用于工业自动化技术、检测技术及信息处理等方面。它具有对磁场敏感、结构简单、体积小、频率响应宽、输出电压变化大和使用寿命长等优点。霍尔传感器分为线性型霍尔传感器和开关型霍尔传感器两种。线性型霍尔传感器由霍尔元件、线性放大器和射极跟随器组成，它输出的是模拟量。开关型霍尔传感器由稳压器、霍尔元件、差分放大器、斯密特触发器和输出级组成，它输出的是数字量。

合上并加以固定，便可以使用其来进行实际的测量了。

使用方法

使用时的操作方法非常简单，将霍尔探头的插头插入主机的插座，将指示量程转换开关根据所测磁场强度大小的需要拨到高挡位或低挡位（磁感应强度大小不确定时，应该先将量程转换开关置于高挡位），将电源开关打开。将霍尔传感器探头的探测面保持适当的角度慢慢靠近所需测量磁场空间，避免过快地靠近强度较高的磁场时，指针剧烈偏转，对其机械偏转机构造成损坏。如果指针出现反偏现象，则将探头反转（沿轴向旋转180°）即可，然后根据表头的读数判断磁场强度的大小，同时还可以根据霍尔传感器探头的探测面的方向来判断磁场的方向。如果所测磁场强度较高，超过高挡位测量指示的最大偏转值，也可以通过将霍尔探头与所测磁场拉开适当距离的方法来“间接”测量磁感应强度，此时虽然无法准确测量磁感应强度大小的绝对数值，但是利用测量结果仍然可以准确判断出所测磁感应强度的相对变化情况，这在实际制作中也是很有意义的。本人利用简易高斯计在电子制作中测量磁场的大小以判断电路的工作状态。在学校教学中利用其演示磁场强度的大小分布和变化趋势，直观形象地向学生展示了看不到、摸不着的神秘磁场的真实存在情况，达到了很好的使用效果，真正实现了小制作、大用途的制作初衷。

注意事项

1. 焊接各部分的连线时应该注意最后焊接主电路至电池的连接线，或将电源开关置于关闭位置再焊接连线，避免在焊接的过程中主电路就已经通电，造成焊接过程中元件损坏。

2. 本制作中采用的指示表头标准的放置状态为垂直状态，测量时为了指示表头指针指示读数的准确性，一般应保持在垂直放置状态，在测试过程中避免指示表头放置角度的频繁变化，以免造成因放置状态的变化，导致指针指示读数的偏差。

3. 实际制作时，因为很难购到专门用来指示磁场强度的表头，只能利用较常见的电压表或电流表头加以改制，而且所采用的霍尔传感器件的灵敏度和线性测量范围以及指示表头的灵敏度和满刻度指示范围也不尽相同，所以调整RP1、RP2时应根据所采用元器件的具体性能特点灵活进行，两个量程的满刻度显示范围也不一定是固定的10倍关系，只要能够利用指针指示的刻度准确，快速地读出磁感应强度的数值就可以了。

4. 注意霍尔探头的电缆插头在插入插座的滑动过程中有可能会因插头、插座电气触点的机械结构特点而导致电源线和地线出现短暂短路的现象，造成电路故障，为避免出现这种现象，可以选用类似本文制作中采用的不会出现短路现象的双芯插座，或者养成先插好电缆插头，再打开整机电源的操作习惯。

5. 本高斯计仅适于测量像磁铁、直流电磁铁等类型的静态（恒定）磁场，对于电源变压器等交变、脉动磁场则难以准确测量。

CGS制和SI制

物理学中对于同一类物理量（例如长度）的大小描述，需要规定一个特定量作为基本度量单位(例如1m)，使同类的物理量都可利用这个度量单位和一个确定数的乘积表示出来。各种物理量通过描述物理规律的数量式和对新物理量的定义而彼此相互紧密联系。通常在所定义的各种物理量中选取一组互相独立的物理量，作为基本物理量，其他物理量根据有关的物理方程导出，称为导出量，从而建立了一套完整系统的单位制体系。

物理学中首先使用的是长度以厘米(cm)、质量以克（g）和时间以秒（s）为基本单位的厘米·克·秒制(CGS制)。CGS制用于描述电磁现象时，有以真空介电常量为定义电量单位导出的绝对静电制(CGSE)和以真空磁导率为1的绝对电磁制(CGSM)，造成使用上的不便。1875年由17个国家在巴黎制定的《米制公约》中规定：长度以米(m)、质量以千克(kg)和时间以秒(s)为基本单位，称米·千克·秒(MKS)制。随着电磁学、热力学、光辐射学和微观物理学的发展，以3个基本量为基础的单位制已不适用了，国际计量委员会在1956年将经过21个国家同意的计量单位制草案命名为国际单位制，以国际通用符号SI来表示。1960年第十一届国际计量大会确认了由国际计量局草拟的国际单位制（SI制）。它设有7个严格定义的基本单位：长度(米)、质量(千克)、时间(秒)、电流(安培)、温度（开尔文）、物质的量（摩尔）和发光强度（坎德拉），还设有导出单位和辅助单位。

打造音乐频谱时钟

◇阮永松

因为比较喜欢DIY，所以笔者经常关注各种DIY信息，一些有趣的电子制作项目深深地吸引了我，杜洋的DM21炫彩音乐显示器和数码之家hit00版主的WAV播放器就是其中最让我感兴趣的两个。我就想，能不能把它们集成到一起呢？于是自己DIY一个音乐频谱时钟的想法由此而生，可一直也没机会付诸实施。眨眼都大四了，我一想，干脆就把这个当成了我毕业设计的题目。

从系统方案的确定、元件的采购、焊接、程序编写（当然不是全部，部分程序摘自网络）、调试，经过半个多月的奋斗，我的音乐频谱时钟终于可以跟大家见面了。这个时钟显示的效果图如图1、图2所示。

知其然还要知其所以然，我们DIY不应该只注重成果，整个过程中我们学到的东西才是最重要的。看完了效果，我们来了解一下这个制作的内部构造，大家互相学习交流。

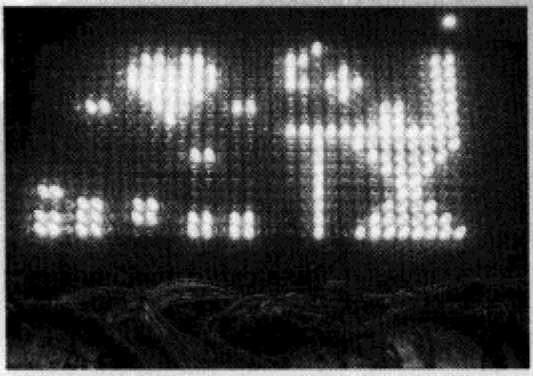


图1 时钟显示效果

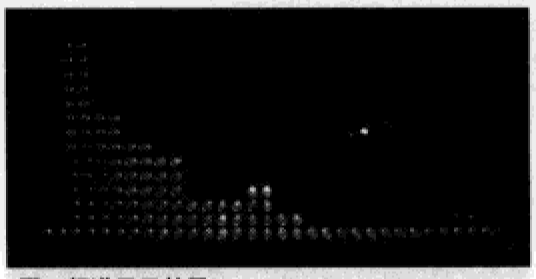


图2 频谱显示效果

读者可以访问 http://v.youku.com/v_show/id_XMzg5NDc0Nzg4.html 观看作品演示效果。

电路原理

下面我们按各功能模块逐一给大家介绍一下这个制作的电路原理吧。

1. 电源部分

电源电路如图3所示。

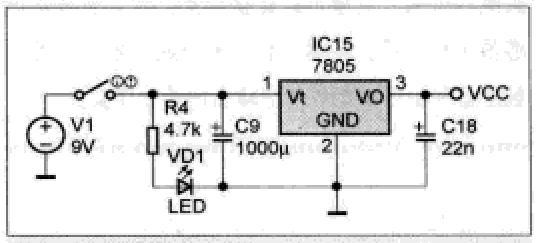


图3 电源部分的电路

电源模块采用了一支很常见的7805稳压芯片，再加一大一小两个电容进行滤波，输入端直接买了个9V/1A的电源适配器，方便省事。7805额定输出电流1A，对于这样的小系统来说，已经完全够用了。实际使用下来，7805发热不太大，无需加装散热片。为了使用方便，我在7805的输入端加装了一个开关和一个红色LED，分别作为系统电源开关和指示灯。

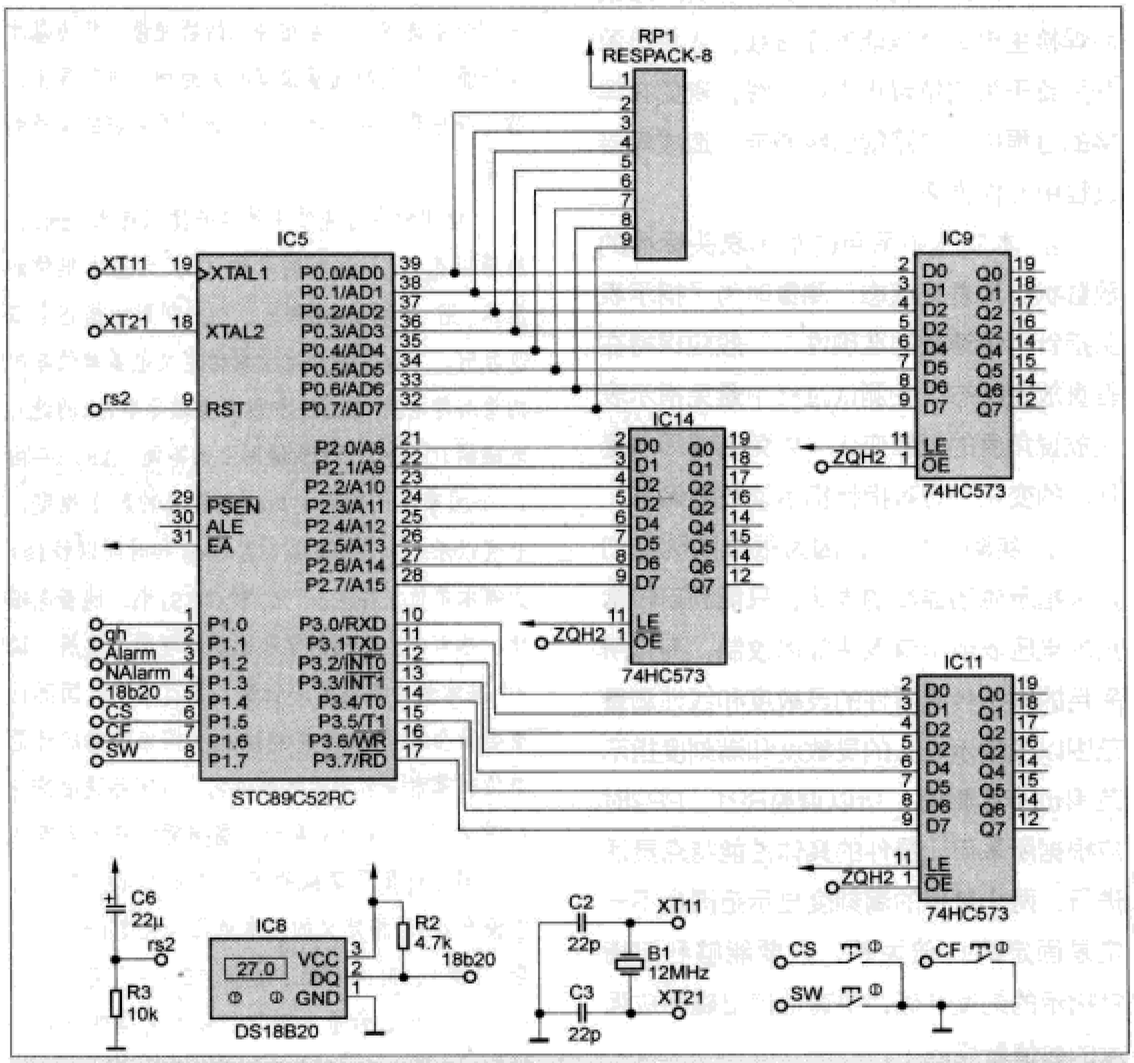


图4 时钟、温度部分的电路

2. 时钟、温度部分

这部分电路如图4所示。单片机采用的是STC89C52RC，考虑到成本和功能性

问题，时钟部分我没有单独买时钟芯片，直接使用内部定时器中断作为时钟源，这直接导致的结果就是时钟误差稍大。经测试，每24小时误差在1分钟左右，作为一个功能性的DIY作品，就饶了它吧，呵呵……温度传感器采用的也是常用的DS18B20，相信大家都很熟悉。3个功能按键分别是时钟（闹铃）小时调整、时钟（闹铃）分钟调整和时钟/闹铃切换。

为了跟“频谱”切题，时钟、温度的显示没有采用传统的数字表示，而是分别把时钟的小时、分钟的十位和个位分别用点来表示，每两列表示一位，每行表示一点，左下角是时钟，右上角是温度。是不是有点晕乎呢？其实只要你看了实物就会觉得很简单，文字的确不是很好表达。时钟没有单独设置“秒”的显示，为了增强显示效果，我特地在右下角设置了沙漏下落效果，每一秒钟下落一行。

3. 频谱分析部分

电路如图5所示。其实这部分内容好像有点重复了，因为在之前已经有作者发表过同样的设计了，读者们肯定还记得《开源的五色LED频谱》吧，不过既然做出来了，还是跟大家分享一下吧。

这部分的制作跟“五色LED频谱”是一样的原理，都是把音频信号经AD采样，用快速傅里叶变换求出频点的幅值，再根据幅值大小来驱动相应的LED。只不过我设计的是每次采128个点，最后十六分频而已。单片机采用的是STC12C5A60S2，已经在信号输入端加了47pF的电容滤波，但还是发现有噪声。可能是因为使用的是洞洞板，还有就是走线过长的缘故。我试着加大了电容再次滤波，但直接导致低频响应变差，鉴于噪声不是很严重，最后只好作罢，将就一下了。

4. WAV音乐播放部分

电路如图6所示。这部分应该是整个系统里面最复杂的了，WAV音乐播放部分是在数码之家论坛hit00版主的“WAV播放

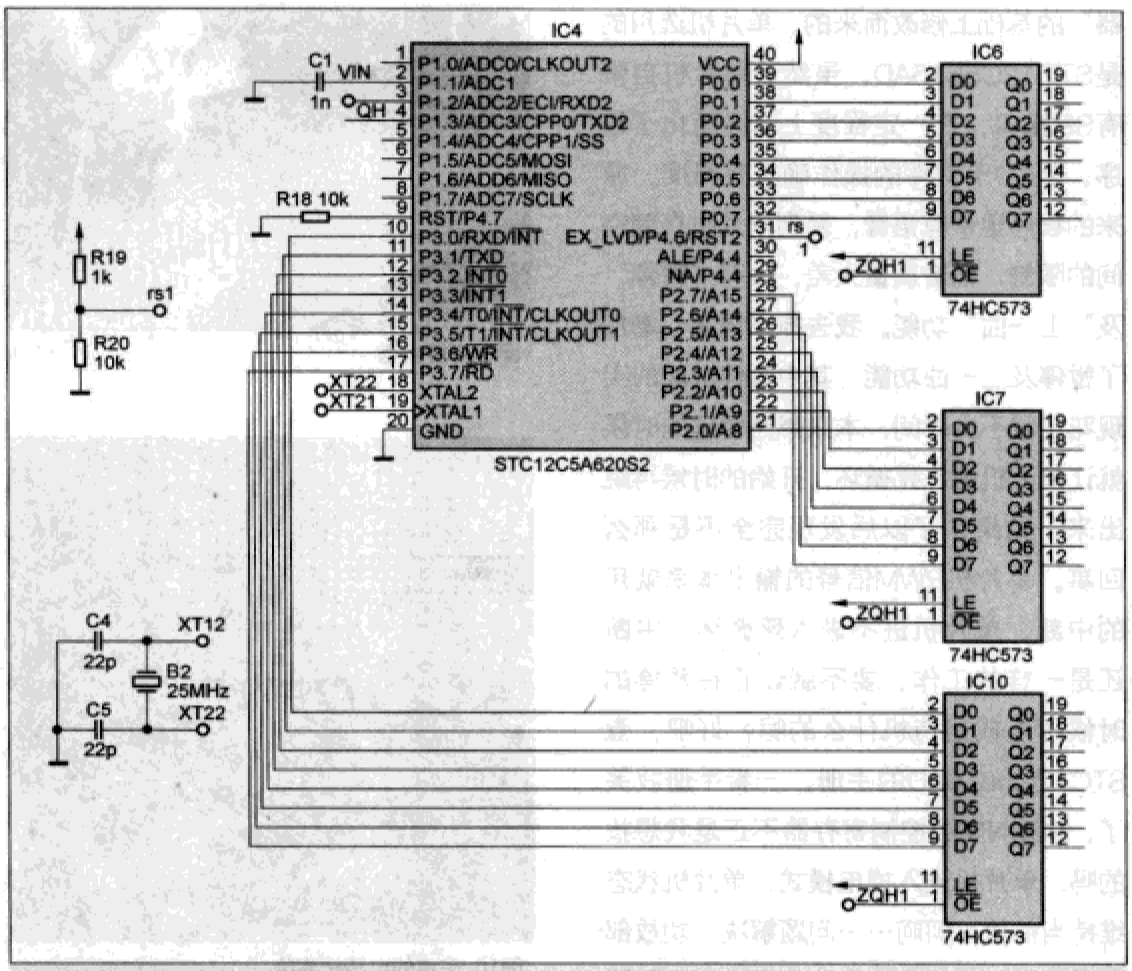


图5 频谱分析部分的电路

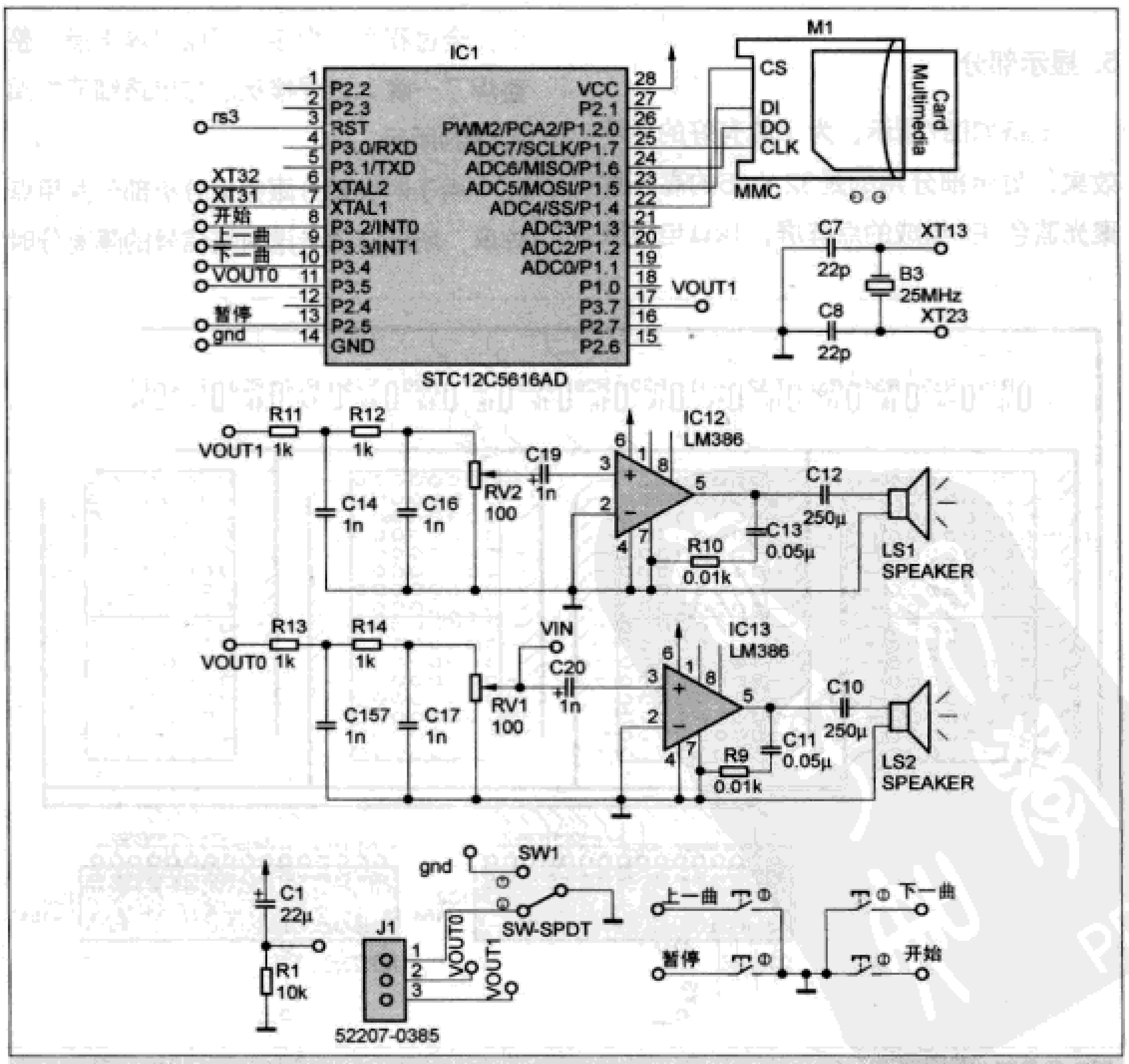


图6 WAV音乐播放部分的电路

器”的基础上修改而来的。单片机选用的是STC12C5616AD，虽然该单片机自带有SPI接口，在一定程度上已经简化了程序，但SD卡文件的操作确实有难度。原来的程序里带有语音，受到单片机存储空间的限制，语音质量太差，没有“暂停”及”上一曲”功能。我去掉了语音，增加了暂停及上一曲功能。其中暂停功能的实现花了我不少时间，本来想当暂停的时候就让单片机进入死循环，开始的时候再跳出来，结果试了以后发现完全不是那么回事。单片机PWM信号的输出本来就用的中断，单片机进不进入死循环，中断还是一样的工作。要不就让它在暂停的时候掉电或是待机什么的呢？好吧，查STC12C5616AD的手册。一看手册我笑了，PCON电源控制寄存器不正是我想找的吗，单片机进入掉电模式，单片机状态维持当前值，呵呵……问题解决。功放部分采用了LM386功放芯片，直接引用了网上LM386的典型应用电路。

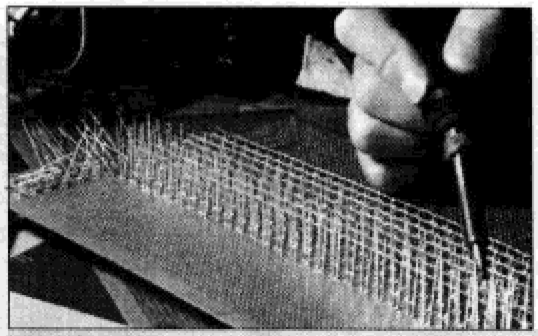


图8 焊接状态

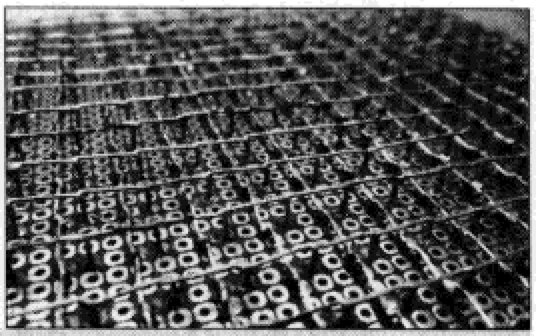


图9 电路细节

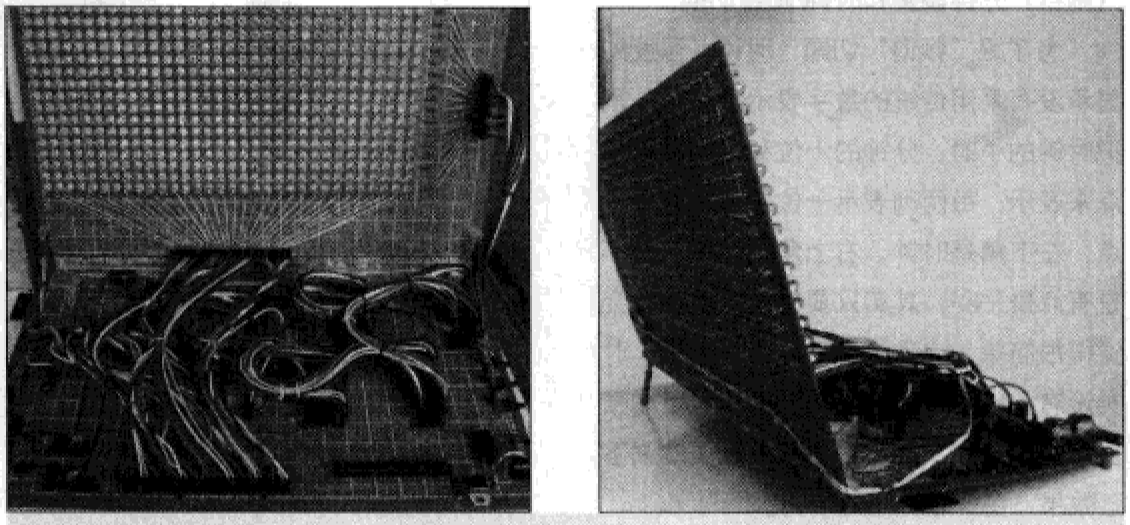


图10 完成的电路板实物

5. 显示部分

电路如图7所示。为了能有好的显示效果，显示部分用的是32×16的高亮度聚光蓝色LED组成的点阵屏，1kΩ电阻限流。全过程手工焊接，可能我焊得慢，整整焊了一晚上。焊接状态与电路细节如图8、图9所示。

由于时钟部分跟频谱分析部分共用点阵屏，所以必须考虑两路信号的隔离分时显示。还有就是32列LED的列驱动问题。信号的隔离分时显示我用的是74HC573锁存器，通过控制OE端口将需要显示的信号线路的74HC573选通，而将另外一组信号通过74HC573的高阻态实现隔离。LED的列驱动选用的是74HC154（4线—16线译码器），只需一组IO口就可实现32列LED的列驱动了。

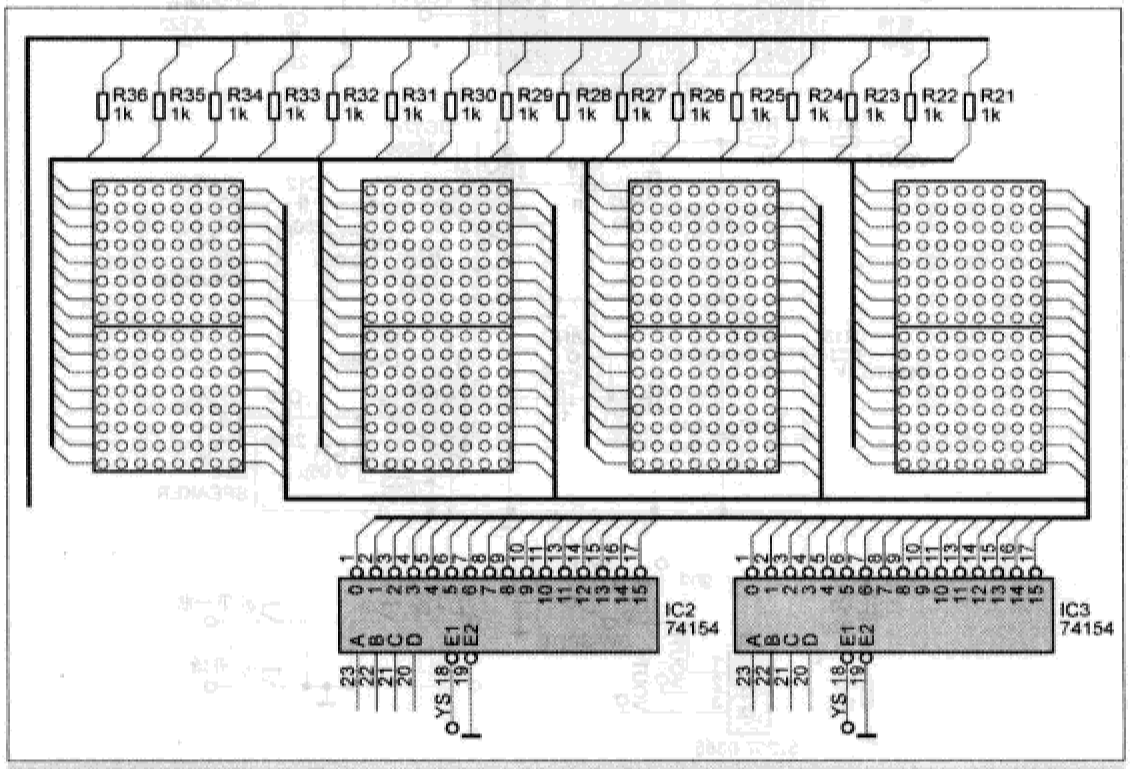


图7 显示部分的电路

到此，整个系统的介绍就完了，在这里特别感谢数码之家论坛的hit00版主在制作过程中给予的大力帮助。图10就是这个实物作品的全家福。

为了尽量减少干扰和连线，整个板子电源全是用焊锡走的线。信号线采用杜邦线和插针连接，方便调试。

虽然制作时觉得挺累，但当看到自己做的东西“跑”起来那一刻，就什么都值了，我相信每一个DIY爱好者都会有这种感觉吧，也许这就是DIY的乐趣。

■ 本制作所需单片机程序、元器件清单及完整电路图可到本刊杂志网站www.radio.com.cn下载。

用M051入门ARM 1

◇卫小音

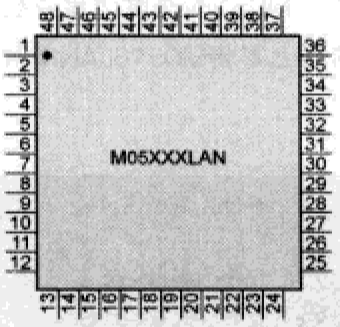
单片机爱好者入门ARM的又一种选择——M051

ARM，大家都多次听说过吧？它和单片机一样还是不一样？实际上，众所周知的单片机和ARM都属于“嵌入式处理器”的范围。单片机叫作“嵌入式微控制器”，简称MCU。而ARM叫做“嵌入式微处理器”，简称EMPU。它们在外观上倒没有什么区别，都不过是一个小小的半导体芯片而已，作用呢，也都是用于实现某种感知或控制功能，“嵌入”在其所依附的设备之中。

我们知道，电脑很强劲，啥都能做，但是它的CPU电流就有几十安，用一个大铁盒子电源供电，这样的大家伙当然无法嵌入到各种小巧的电子设备中去。长期以来，对于小巧灵活、省电易用的控制技术，一直以8位单片机为主。但是随着应用要求的提高，单片机未免有些力不从心，这时崭新架构的ARM处理器就在ARM公司诞生了，各大半导体厂家也就以ARM处理器核心为骨干，添加上自己的功能，造出了功能众多、速度快、功耗低，并且各具特色的32位ARM芯片。

ARM曾经先后推出了ARM7（V4架构）、ARM9（V5）、ARM11（V6）等不同架构和性能的ARM处理器内核，它们比普通单片机更加复杂，更加接近计算机，一般都要求在小型操作系统上运行。由于这些处理器以及开发装置都比较昂贵，而且首先需要会Linux或Windows CE这些操作系统上的编程才能玩得转，所以在业余条件下要从零开始学习还是有一定难度的。

近两年ARM在以上架构的基础上又开发出新的第二代架构V7，其中包括高、中、低各系列。CORTEX M3为低端系列，其中最有名的就是意法半导体的STM32了。芯片和开发板都便宜了，编程工具就直接用大家熟知的KEIL的MDK 或IAR(ARM版）集成开发平台，这样大大降低了入门条件。随后又有频率稍低的M0系列问世，如恩智浦针对快速、低功耗应用推出的LPC1100系列。新唐公司去年也推出了NUC系列和M051系列的M0架构的ARM处理器，其价格更是降到8位单片机的水平，入门的硬件开发板也更加便宜，例如直接可用的带下载器的评估版加上一条USB线，也就75~100元，可直接使用上述编程平台。特别是M051系列，引脚和大家熟悉的51单片机兼容，可以在现有的51开发板上使用。这就使得大家在已有的条件下，不需要投入大量资金，就能学习新的嵌入式系统。以下笔者将对M051硬件和开发工具加以介绍，看看它究竟有些什么特点，真的那么容易吗。



封装：LQFP48

引脚号	功能	引脚号	功能	引脚号	功能	引脚号	功能
1	P1.5/MOSI_0/AIN5	13	P3.6/WR/CKO	25	P2.5/AD13/PWM5	37	P0.3/AD3/RTS0
2	P1.6/MISO_0/AIN6	14	P3.7/RD	26	P2.6/AD14/PWM6	38	P0.2/AD2/CTS0
3	P1.7/SPICLK0_AIN7	15	XTAL2	27	P2.7/AD15/PWM7	39	P0.1/AD3/RTS1
4	RST	16	XTAL1	28	P4.4/CS	40	P0.0/AD2/CTS1
5	P3.0/RXD	17	VSS	29	P4.5/ALE	41	VDD
6	AVSS	18	LDO_CAP	30	P4.6/ICE_CLK	42	AVDD
7	P3.1/TXD	19	P2.0/AD8/PWM0	31	P4.7/ICE_DAT	43	P1.0/AIN0/T2
8	P3.2/INT0/STADC	20	P2.1/AD9/PWM1	32	P0.7/AD7/SPICLK1	44	P1.1/AIN1/T3
9	P3.3/INT1/MCLK	21	P2.2/AD10/PWM2	33	P0.6/AD6/MISO_1	45	P1.2/AIN2/RXD1
10	P3.4/T0/SDA	22	P2.3/AD11/PWM3	34	P0.5/AD5/MOSI_1	46	P1.3/AIN3/TXD1
11	P3.5/T1/SCL	23	P2.4/AD12/PWM4	35	P0.4/AD54/SPISS1	47	P1.4/AIN4/SPISS0
12	P4.3/PWM3	24	P4.0/PWM0	36	P4.1/PWM1	48	P4.2/PWM2

部分符号意义：

AINx：模拟量输入
SPICLKn：SPI 时钟
RXD TXD：串口 USART 收发线
AVSS：模拟地
STADC：ADC 外部触发输入
MCLK：EBI 时钟输出
SDA SCL：I2C 总线数字、时钟
RST：复位

CKO：HCLK 时钟输出
VSS：数字地
LDO_CAP 降压输出电容
PWMn：PWM第 n 路输出

ADn：AD 变换
ICE_CLK ICE_DAT：JTAG 线
SPICLK SPISS：SPI 口线
MISO MOSI：SPI 口线

RTSn CTSn：串口 USART 握手线
VDD：数字电源正
AVDD：模拟电源正
Tn：定时器 TIMERn 计数输入

图1 LQFP封装的M051的引脚排列和功能

M051简介

ARM处理器M051芯片有两种封装形式。一种为LQFP封装，48引脚，有M052LAN、M054LAN、M058LAN、M0516LAN等4种型号。芯片体积为7mm×7mm×1.4mm，分别对应的程序ROM容量为8KB、16KB、32KB和64KB，它们都具有4KB SRAM、4KB数据Flash ROM、4KB ISP引导ROM、40个I/O引脚、4个32位定时器、2个 UART串口、2个 SPI口、2个 I2C口、8个16位PWM、8路12位ADC、EBI外部总线、看门狗等。由此可见，它比普通单片机的功能要多。

另一种为QFN封装，33引脚，有M052ZAN、M054ZAN、M058ZAN、M0516ZAN等4种型号，体积更小（5mm×5mm×0.8mm），引脚较少，存储器和上面相同，功能比LQFP封装的少些（如I/O只有24线，SPI、I2C仅1个，PWM、ADC只有5个，无EBI），更适用于小体积应用，价格也更低。

和其他ARM一样，M051有十分复杂的时钟系统，可使用4~24MHz外部晶振或22MHz内部RC振荡器为时钟源，通过倍频系统，最高时钟频率可达50MHz，可在程序中改变时钟频率，单片机是做不到这个的。它具有2.5~5.5V的宽工作电压范围（许多ARM只能在3.3V工作）以及可设定的低电压检测功能。

因为具有RISC体系、单指令周期32位硬件乘法器、对高速设备（如内存）存取的内部高速总线AHB以及对低速设备（如UART ADC 等）工作的外设总线APB和总线桥，犹如把电脑主板的总线和南北桥浓缩到芯片中，M051的速度比单片机快得多。但是它的价格并不高，目前网上零售M0516LAN单片不到10元，和单片机售价相当，甚至更低。

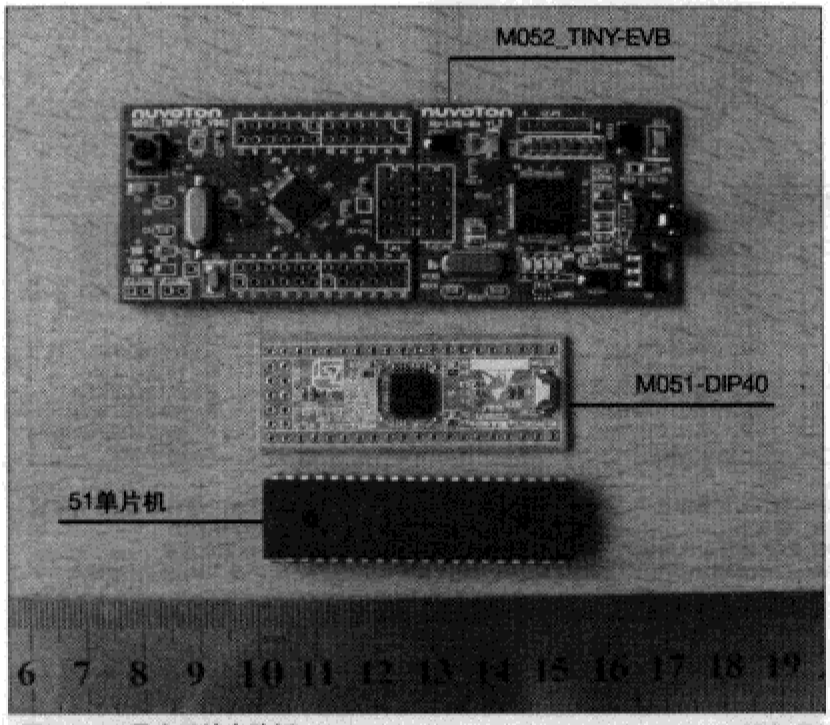


图2 M051最小系统电路板

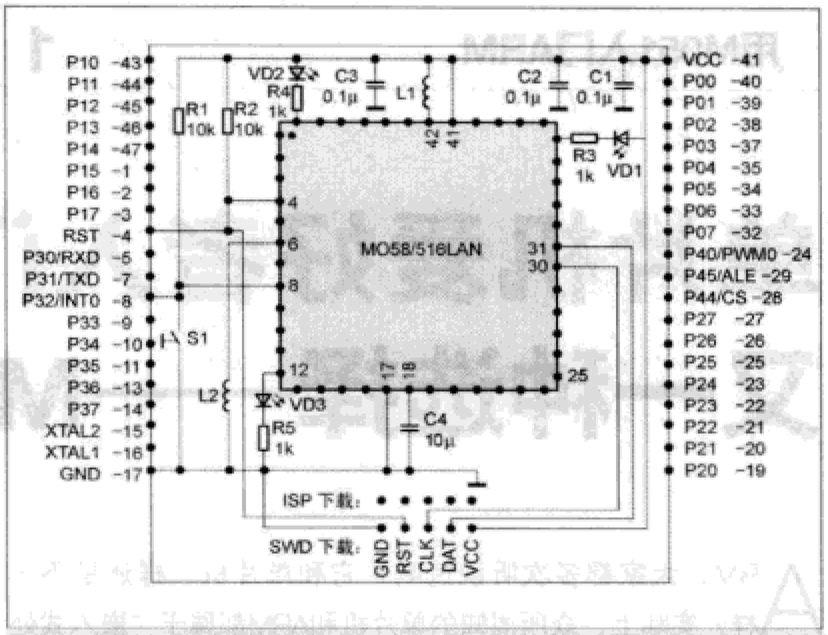


图3 M051-DIP40的电路图

在编程方面，M051一般用编程器/调试器Nu-Link-Me实现ICP（在电路编程）串行下载，下载器还支持脱机下载功能，即先把应用程序下载到Nu-Link-Me中，然后用它给多个M051逐一下载，适合于批量下载的情况。

48引脚的M051引脚排列和功能如图1所示，和44引脚的LQFP封装的AT89C51单片机引脚分布大体一致，名称也相同，怪不得叫M051了。

◆ 两种简易的学习-开发装置：评估板

芯片如此小，引脚又密集（间距0.5mm），要拿它做实验，直接用洞洞板是没辙了。好在商家有现成的焊好芯片及外围电路的最小系统电路板（评估板）供应，如图2所示。图中，上方是新唐原厂的评估板，型号是M052_TINY-EVB。它的左半部是评估板，上面焊有M0516LAN、晶振、复位按钮、电源滤波电路、接在P3.6口的LED（可用于闪光灯试验），以及电源指示LED 。对称分布在电路板两侧的48个焊孔和对应的引脚接通。右半部为Nu-Link-Me下载器/调试器，可直接用于程序串行下载和调试。板上有NUC120芯片，下载程序时，电脑上的程序通过外部USB接口进入NUC120（属于带USB口的M0），在其中把程序代码转换成高速串行下载的DAT数据，灌注到M051的程序Flash（APROM）中。同时，板上还具有3.3V稳压电路，通过选择微型USB插座上方的0Ω电阻焊接位置，可为评估板提供5V或3.3V工作电源。因此这个小板子插上USB线就可以直接使用，比如做LED闪光试验等。

还可以把这两部分切断、分开，形成独立的开发板和下载器，两者通过5线排针和排座连接电源和下载数据线，下载器也可用于给别的M051下载程序。

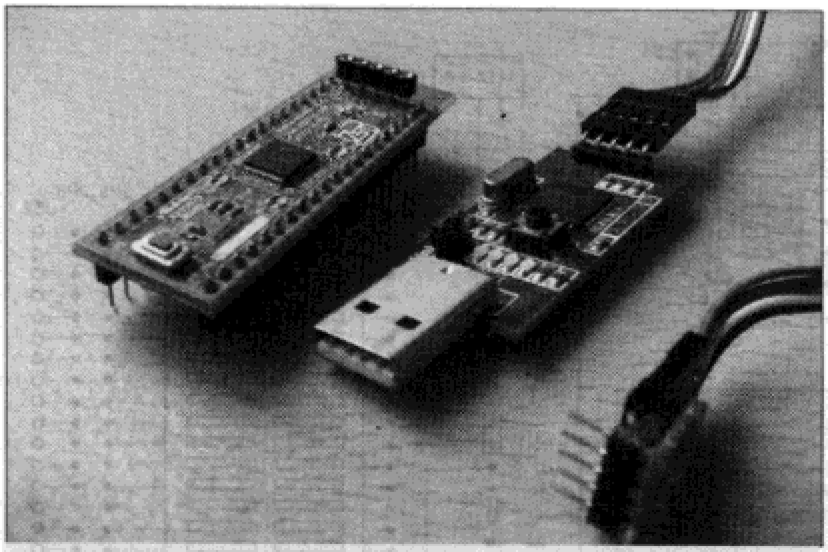


图4 焊好排针的M051-DIP40板和另配的Nu-Link-Me下载器

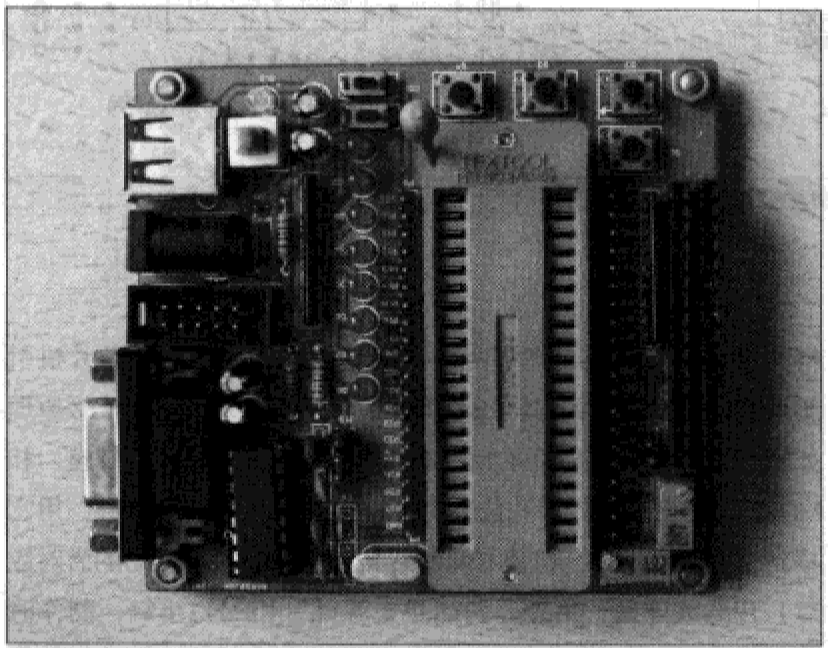


图5 一种廉价的51/AVR两用开发板

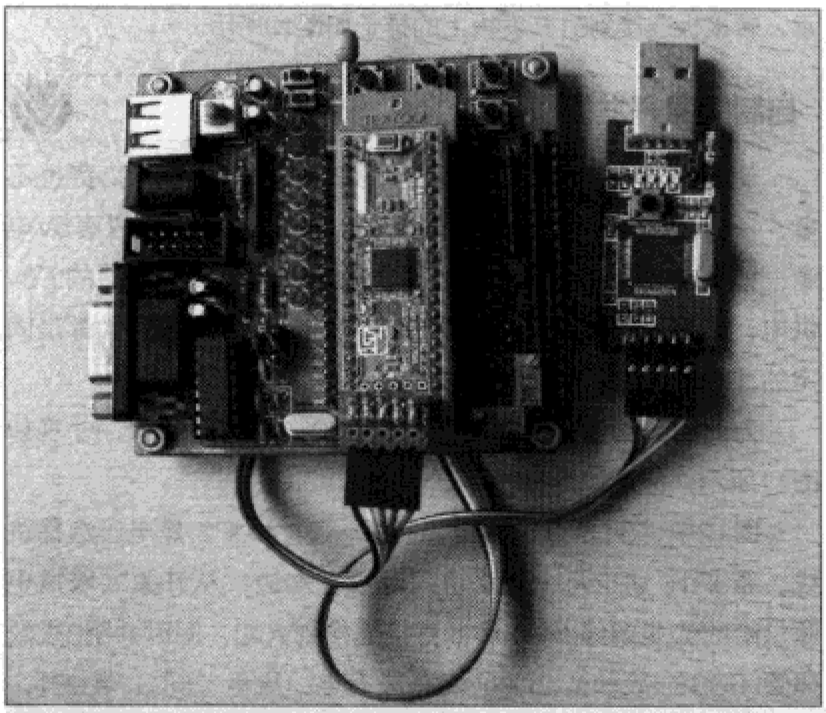


图6 装上M0516-DIP40板的开发板

图2中，M052_TINY-EVB评估板下方是另一种由大中科技开发的最小系统板，型号是M051-DIP40，它做成了和51单片机同样大小的电路板，两侧用和51一致的焊孔引出M0516的引脚，在焊孔焊上排针，就可以在已有的51单片机开发板上使用，非常方便。但是由于DIP40的引脚限制，不可能引出全部引脚。另外，它需要外配下载器（一般就用Nu-Link-Me）才能使用。

M051-DIP40的电路如图3所示，其中P表示引脚名，“-”后的数字为芯片对应引脚编号。在未引出的P4.1、P4.2和 P4.3上分别接有贴片发光二极管VD1、VD2、VD3，这样就可以试验简单的流水灯、PWM了。注意它上面的按钮不是复位钮，而是接在INT0上，供ISP下载时使用。如果使用Nu-Link-Me下载器，用不着ISP，就可以把它用来做外部中断信号。板上面不带晶振，需要外部晶振或直接使用内部22MHz的RC振荡源。这个小板的价格大约在45元左右，实际上有的板子用的是M058LAN，程序容量小些（32KB），其他性能不变，对初学者也够用了。焊好排针的M051-DIP40板和另配的Nu-Link-Me下载器如图4所示，因为板子两侧过孔较小，所以使用了圆形排针和圆孔下载口排座。

M051的程序下载

和单片机一样，M051也需要注入所需的程序才能“活”起来。M051下载程序有ICP（在电路编程）和ISP（在系统编程）两种方法。

ISP需要在Flash的引导区LDROM装入引导程序，并对M051的内存控制器加以设置，上电时就从LDROM执行引导程序。如果此时检测到ISP线（即INT0线）为低，需要更新应用程序，就从串口UART先行下载更新APROM中的程序，完成后再执行刚才下载的应用程序。

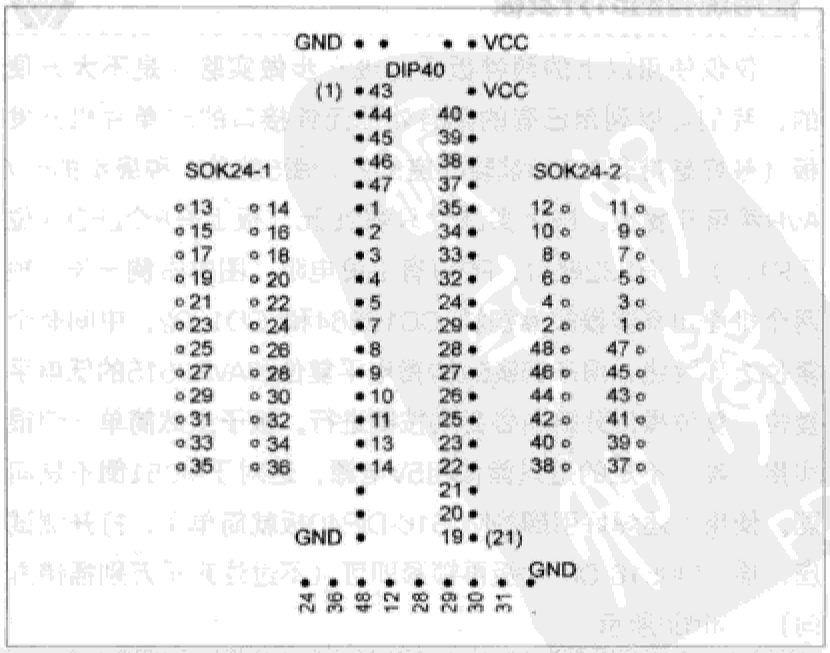


图7 自制转接板接点配置

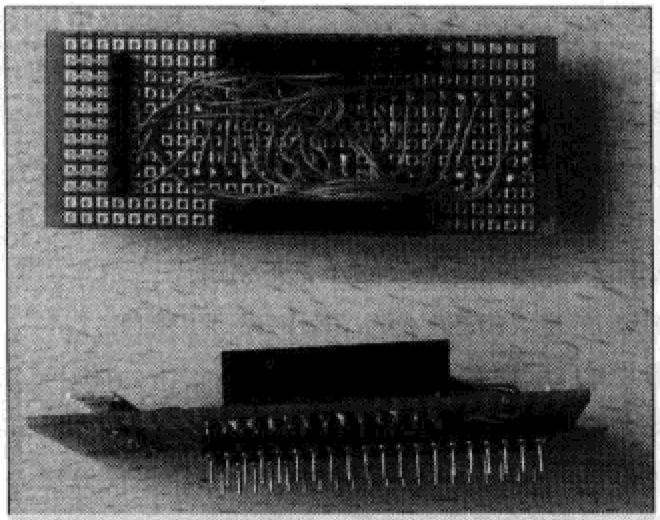


图8 制作好的转接板

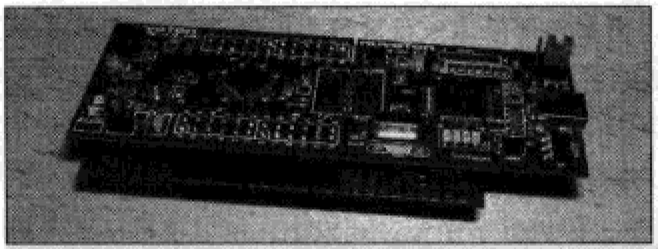


图9 把M052_TINY-EVB板连接到转接板上

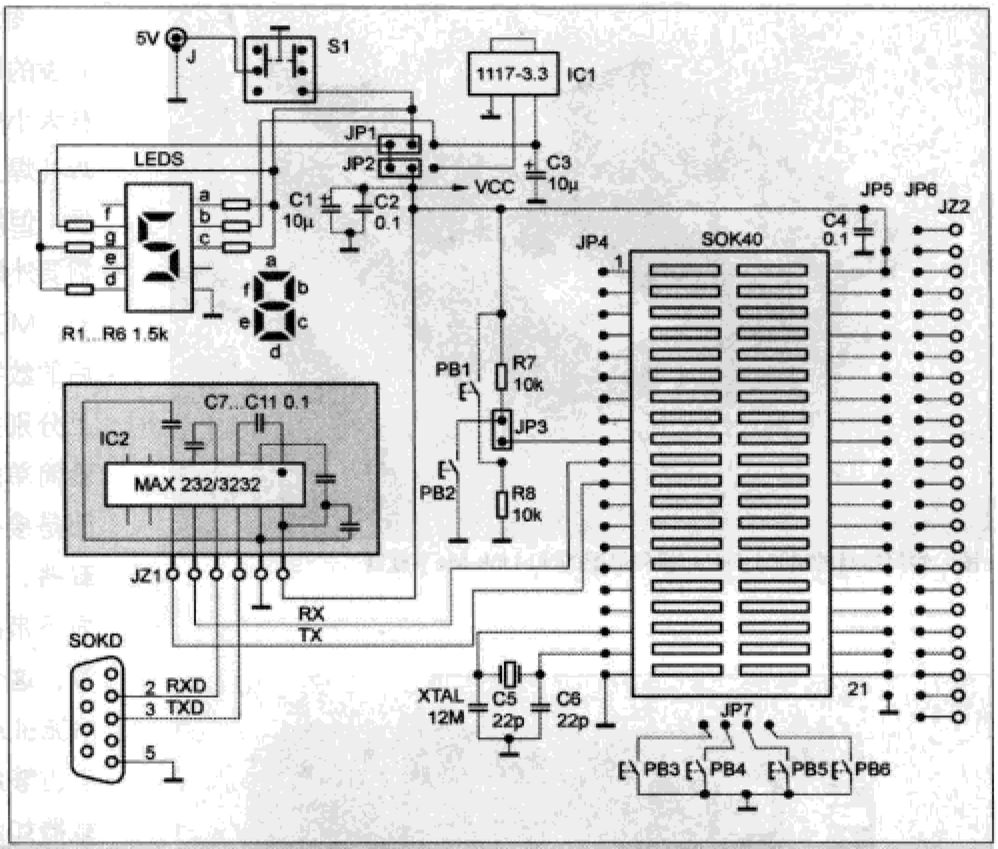


图12 自制的51/M051两用开发板原理图

使用得最多的还是ICP，这时上电启动后直接进入APROM执行应用程序，需要更新它时，就通过Nu-Link-Me下载器把程序代码变换后，通过串行下载口SWD注入APROM中。对于和下载器连体的评估板M052_TINY-EVB，两边SWD接口5根线已经连好。对于M051-DIP40的小板，SWD下载口是靠一端外侧的5根线（VCC 、DAT、 CLK、 RST、 GND）。外接的Nu-Link-Me也是同样的5根线，把它们通过连接器一一对应连接即可。插接前注意方向千万别插反。一般下载在编程时进行。

使用现有的51开发板

仅仅使用以上的两种板子，进一步做实验还是不大方便的，我们可以利用已有的具有外部元件接口的51单片机开发板（最好是带有DIP40试验插座的）。图5就是一种廉价的51/AVR两用开发板，网上买散件只需25元。板上有8个LED（位于P1口），有232串口，P0口有上拉电阻，图中右侧一长一短两个排座用来连接液晶模块LCD12864和LCD1602，中间有个复位选择跳线，用来切换51的高电平复位和AVR8515的低电平复位，复位操作分别由各自的按键进行。板子虽然简单，但很实用，唯一不足的是只能使用5V电源，这对于M051倒不是问题。使用上述焊好引脚的M0516-DIP40板就简单了，打开测试座，插上M0516-DIP40板再锁紧即可（不过注意千万别插错方向），如图6所示。

对于前一种M052_TINY-EVB板，也可以使用51开发板，不过得自制一个转接板，把那两排共48个焊孔转换为和51单片机引脚兼容的DIP40引脚，其余8个焊孔另外用插针引出。转接板原理如图7所示，其中SOK24-1和SOK24-2为两块24孔双列排座，和M052_TINY-EVB板的焊孔位置对应，中间是两条20脚排针，用它插到51板测试座上。排座和排针对应点（图中数字相同的为对应点）用导线连通。另外，两端是电源排针和P4口排针，制作时使用了双面洞洞板以便在两面分别焊装排针和排座。制作好的转接板如图8所示，M052_TINY-EVB板插在转接板上的样子如图9所示，转接板连接到51开发板上的样子如图10所示。

自制简易开发板

使用上述51开发板做M051的试验比较省事，花费也不多，不过还是有两个问题不好解决：一是51开发板只有5V电源，如果想用3.3V电源就不方便，除非一直使用下载器的3.3V供电，二是51开发板上的对外接口（如按键、LCD等）都是固定的，无法更改，缺乏灵活性。

为此我用洞洞板自制了一个51/M051两用开发板，外观如图11所示，原理如图12所示。

图12中，S1是自锁式电源开关，JP1和JP2 是电压选择跳线。若JP1、JP2两个短路块同时插在左边，从开关式墙插电源供给的5V电源经J输入后，直接连接到VCC，同时共阴8段数码管LEDS的f段和a、g、c、d各段有电，显示“5”，若JP1、JP2同时插在右边，则IC1稳压器1117-3.3接入，3.3V输出到

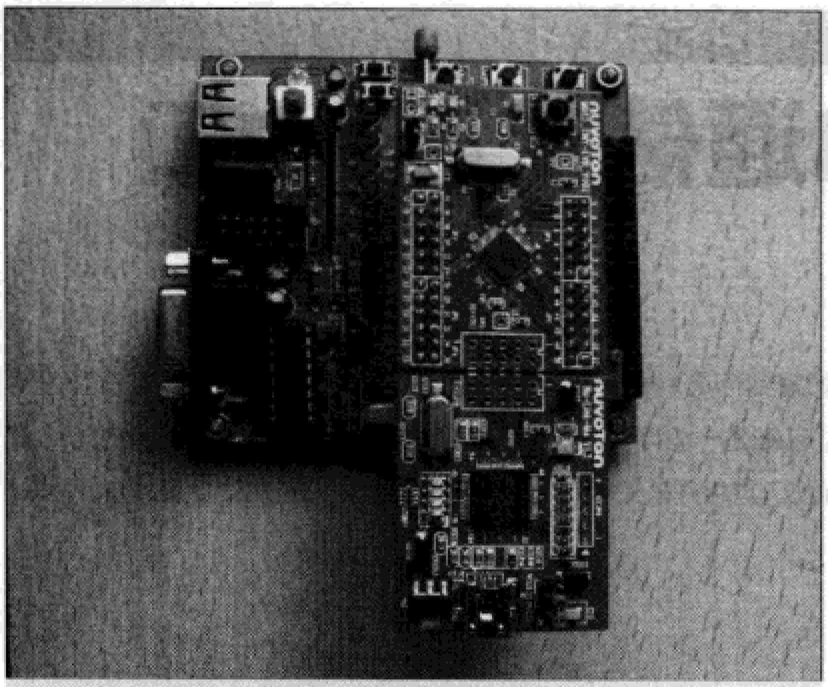


图10 M052_TINY-EVB板借助转接板连接到51开发板上

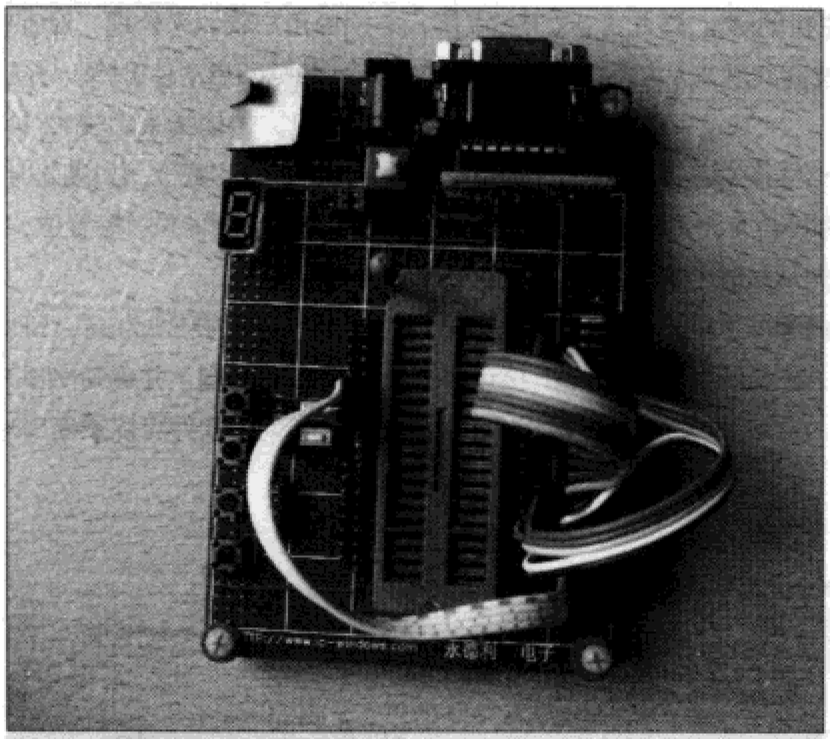


图11 自制的51/M051两用开发板

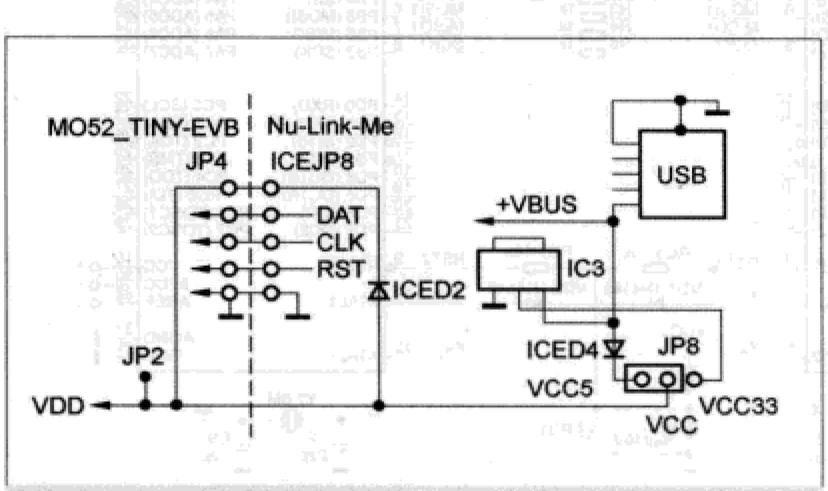


图13 M052_TINY-EVB板的电源电路

VCC，同时，数码管的f断电，b有电，加上其他固定连接的各段，它显示“3”，这样就能清晰地显示工作电压状态。

JP3是复位选择跳线，短路块位于上方时，一端接地的按钮PB2为复位按钮，用于M051的低电平复位。短路块位于下方时，一端接正的按钮PB1，则用于51单片机的高电平复位。

IC2是MAX232，变换串口电平，9孔D型插座用于插入串口电缆连接到电脑，IC2插座和有关电容用一块小洞洞板做成插件形式，如果引脚P30 、P31要用作I/O，不使用串口，则可以把它整个从排座JZ1上拔下。使用串口时，要按VCC电压来选用5V的MAX232或3V的MAX3232。SOK40是40脚测试座，51单片机或M051评估板就插在上面。两侧引脚分别接到排针JP4和JP5，最终按需要通过杜邦线和排针JP6连接，然后通过排座JZ2引向外部电路。

4个按钮PB3、PB4、PB5、PB6也是用排针JP7和杜邦线与JP4 或JP5相关点连接，这样就非常灵活了，可以根据实际需要连线。

关于电源的一点补充

如前所述，M051的评估板M052_TINY-EVB、M051-DIP40均可从下载器的USB接口供电。有的Nu-Link下载器具有电压选择跳线，可以方便地选择3.3V或5V工作电压。和M052_TINY-EVB板连体的Nu-Link通过改变0Ω电阻的焊接位置（图2中USB插座上方的那3个点）来改变工作电压。为了做试验方便，可以焊掉0Ω电阻，再焊上3根排针，加上跳线块进行电压选择。试验中有时还是需要选择电压的，例如LCD一般都是5V的多，而TFT液晶、SD卡等除非模块上有电压转换电路可使用5V电压，一般非要3V电压不可。

还要注意一点，就是使用51单片机开发板或自制简易开发板，如果不需要从下载器供电而是从开发板供电，那对于M051-DIP40小板，一定在通过51开发板供电之前，先把下载器拔掉，防止往下载器倒送电。连体的M052_TINY-EVB板的电源电路如图13所示，其中ICED2和ICED4是低压降的肖特基二极管，作用是防止左边的VDD通过VCC倒灌到USB。ICED2仅在把连体分开时起作用：这时下面的VCC和VDD永久断开，下载器电源通过ICED2和ICEJP8往JP4的连接供电。在使用成品或自制51开发板电源时，通电前需要把VDD和VCC设成相同值，都是5V或都是3.3V，切不可一高一低。然后把自制转换板的电源引脚通过杜邦线插到M052_TINY-EVB的电源JP2引脚上再行送电。要恢复下载器供电时，就把这根杜邦线拔掉，51开发板的电源就到不了下载器。

M051的硬件部分就写到这里，下次我们将讲解M051的初步编程技巧。

单片机开发实例及程序研究

◇周兴华

AVR单片机使用SPI通信扩展I/O口

单片机之间的通信与扩展，在实际工作中非常重要。试想，如果我们要制作一个16通道的模拟信号采集器，那么只要选用两片带有8通道/10位ADC转换器及SPI通信接口的单片机即可轻松完成这一设计，而带有这些功能的单片机目前市场上比比皆是，如ATmega16A、PIC16F877A等。笔者在这里要介绍一种在设计工作中经常使用的比较成熟可靠的扩展方法，该方法工作极其稳定，已用于一家日本公司的测试仪器。

电路概述

电路原理见图1，由两片ATmega16A单片机构成一个扩展I/O系统。一片ATmega16A的最大可使用I/O口线为32个，而两片ATmega16A的最大可使用I/O口线为56个（除去SPI通信的4+4个I/O口线）。SPI的通信速度极快，几乎可以满足现在所有外设的速度要求。单片机IC1为主控制器（主机），由它构成系统的控制核心。单片机IC2为从控制器（从机），它进行系统的I/O扩展及其他辅助工作。ISP1、ISP2为IC1、IC2的程序下载口，为了避免在IC1、IC2下载程序时，两芯片间相连的SPI通信线发生干扰，增加了R2~R5这4个1kΩ的隔离电阻。同时为了实现单键对IC1、IC2复位，还增加了VD1、VD2两个二极管。

IC1与IC2之间使用简便高效的SPI通信，SPI通信的原理见图2，左侧的为主机，右侧的为从机。系统包括两个8位的移位寄存器和一个主机时钟发生器。通过将从机的SS引脚拉低，主机启动一次通信过程。主机和从机将需要发送的数据放入相应的移位寄存器。主机在SCK引脚上产生时钟脉冲以交换数据。主机的数据从主机的MOSI移出，由从机的MOSI移入。从机的数据从从机的MISO移出，从主机的MISO移入。主机通过将从机的SS拉高实现与从机的同步。

主机和从机的两个8位移位寄存器可以被认为是一个分开的16位环形移位寄存器，当数据从主机移向从机时，从机的数据也同时从相反的方向移向主机。这意味着在一个移位周期内，主机和从机的数据进行了交换。

配置为主机时，SPI接口不自动控制SS引脚，必须由用户软件来处理。对SPI数据寄存器写入数据即启动SPI时钟，将8位的数据移入从机。传输结束后SPI时钟停止，传输结束标志SPIF置位，如果此时SPCR寄存器的SPI中断使能位SPIE置位，发送结束中断就会发生。

配置为从机时，只要SS为高，SPI接口将一直保持睡眠状态，并保持MISO为三态。这个状态下，软件可以更新SPI

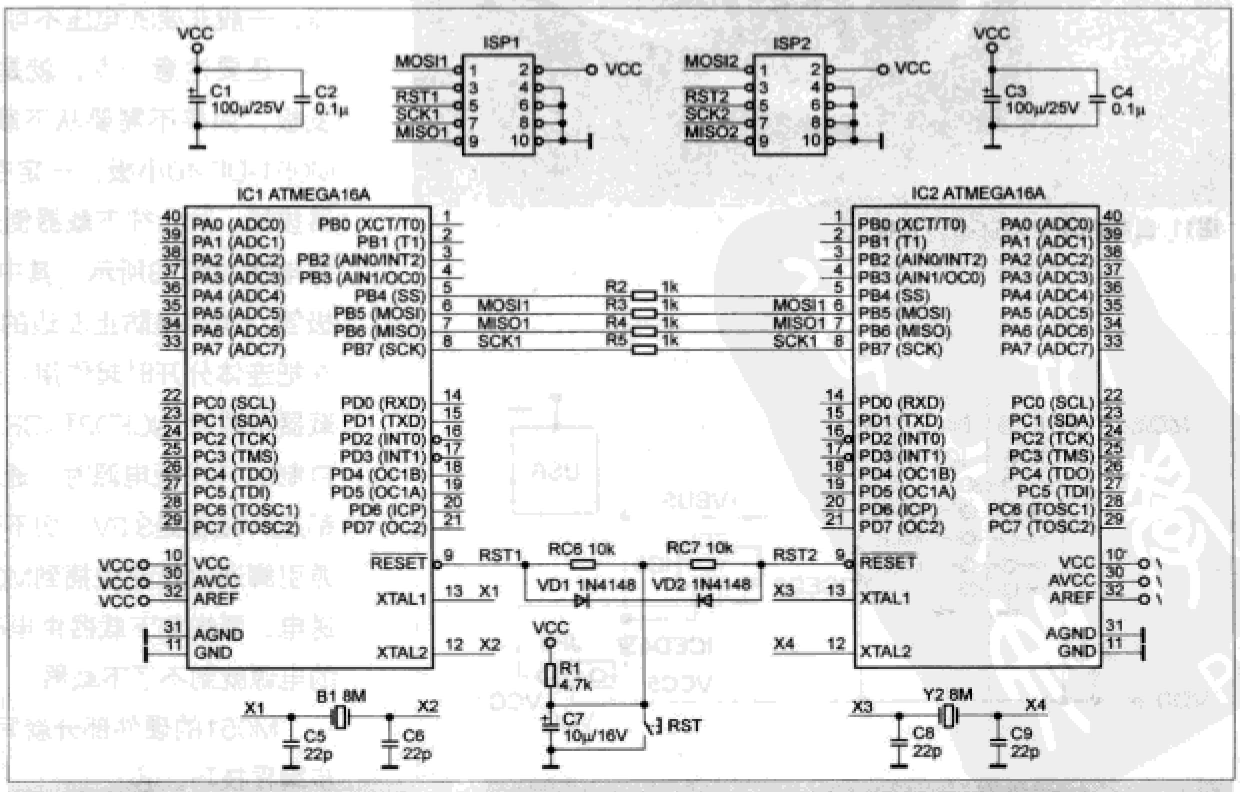


图1 电路原理

主机的核心代码分析

```
/********主机发送操作子函数*******/
void SPI_MasterTransmit(uchar Address,uchar Data)
{
uchar clear;
CLR_BIT(PORTB,SS); //主机拉低SS线使能SPI器件
SPDR=Address;    //发送地址
while(!(SPSR&0x80)) {;}  //等待发送完成
clear=SPSR;  //先读SPSR,再访问SPDR,可以清除SPI完成的标志SPIF
clear=SPDR;
clear=clear;
delay_us(100);  //100μs的延时，便于从机进行识别处理
SPDR=Data;   //发送数据
while(!(SPSR&0x80)) {;}  //等待发送完成
clear=SPSR;//先读SPSR，再访问SPDR，可以清除SPI完成的标志SPIF
clear=SPDR;
SET_BIT(PORTB,SS);  //两个字节发完后禁止SPI器件
}
/*********主机读操作子函数**********/
uchar SPI_MasterRead(uchar Address)
{
 uchar clear;
 uchar Data;
 CLR_BIT(PORTB,SS);    //主机拉低SS线使能SPI器件
 SPDR=Address;  //发送地址
while(!(SPSR&0x80)) {;}  //等待发送完成
clear=SPSR;  //先读SPSR，再访问SPDR，可以清除SPI完成的标志SPIF
clear=SPDR;
clear=clear;
delay_us(100); //100μs的延时，便于从机进行识别处理
SPDR=0x00;  //发空数据，为的是读取数据
while(!(SPSR&0x80)) {;}//等待发送完成
clear=SPSR;//先读SPSR，再访问SPDR，可以清除SPI完成的标志SPIF
 Data=SPDR;
 SET_BIT(PORTB,SS); //禁止SPI器件
 return(Data);//返回读取的数据
}
/**********主机的主函数************/
void main(void)
{
port_init(); //主机端口初始化
spi_init();  //主机SPI初始化
while(1)//无限循环
{
SPI_MasterTransmit(SLAVE_PORTA,0x00);  //向从机的PA口写0x00，输出低电平
RDPD_slave=SPI_MasterRead(0x01);
 //主机读入从机PD口引脚状态
 //      其他用户代码
}
}
```

从机的核心代码分析

```
/*******从机的SPI接收中断函数*******/
#pragma vector=SPI_STC_vect
//SPI中断向量声明
__interrupt void spi_stc_isr(void)
//中断函数
{
RXb[cnt]=SPDR;   //接收的字节放入RXb数组  //RXb[0]中存入地址，RXb[1]存入数据
cnt++;    //第1个字节接收完成后，准备接收第2个字节
 if(cnt>1)cnt=0;  //每次只接收2个字节
}
/*********从机的主函数**********/
void main(void)
{
  port_init();  //从机端口初始化
  spi_init();  //从机SPI初始化
  while(1)        //无限循环
  {
if(cnt==0){TXb[0]=0x55;SPDR=TXb[0];}
//平时从机待发区SPDR置0x55应答信号
if(RXb[0]==0x01)//如果收到的地址为0x01，则读取PIND
{TXb[1]=PIND; SPDR=TXb[1];}
//读取PIND，将读取的PIND置于从机待发区
else if(RXb[0]==0x02) //如果收到的地址为0x02，则输出数据到PORTA口
{PORTA=RXb[1];} //将收到的数据输出到PORTA口
//       其他用户代码
}
}
```

数据寄存器SPDR的内容。即使此时SCK引脚有输入时钟，SPDR的数据也不会移出，直至SS被拉低。一个字节完全移出之后，传输结束标志SPIF置位。如果此时SPCR寄存器的SPI中断使能位SPIE置位，就会产生接收完成中断请求。

软件设计

主机是系统的核心，因此主机的发送与接收使用查询的方式。而从机接收主机的信号是一个随机过程，因此从机的接收采用中断方式。假设我们需要由从机的PD口读取外部信号到主机，主机输出信号到从机的PA口控制外部设备，那么我们可以定义从机的PD口地址为0x01，定义从机的PA口地址为0x02。下面给出部分主机及从机发送与接收的核心函数进行分析。

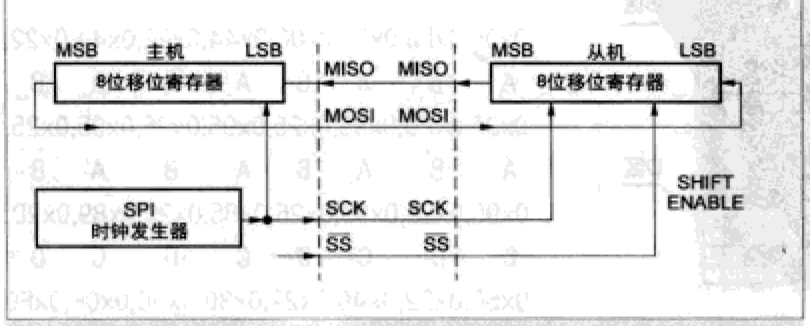


图2 SPI通信的原理

■ 完整的代码可到本刊网站www.radio.com.cn下开载，使用IAR Embedded Workbench5.11B集成开发环境编译。

玩转16×16LED点阵屏

◇席卫平

在单片机发烧友圈子中，有关用单片机驱动LED、数码管、LCD等的入门文章随处可见，有关驱动LED点阵屏的文章则不多，至于真正能够显示一个国标汉字的16×16点阵屏的则更少。本文向大家介绍一款用Atmega48单片机控制16×16点阵屏显示汉字，并可做出多种动画特效的实验小系统，让你尽显编程技巧，尽情玩转16×16点阵屏这一汉字显示最小单位。

原理说明

1. 计算机显示汉字的基本原理

计算机显示屏上的汉字实际上是由一组有序排列的像素构成的。如果有笔画的像素不亮，而其周围的像素都是亮的，就能看到一个黑色笔画的汉字。能够清楚地显示一个汉字的最小像素数是16×16=256，这是DOS时代就定下的规矩。现在的Windows有了矢量字体，大大丰富了汉字的显示，能在屏幕上不失真地显示汉字书法的美。

现在回到16×16LED点阵屏，我们的任务是在这块方寸之地显示一个汉字，而且要能上下、左右地滚动，首先要解决的问题就是如何存放这256个汉字笔画像素的信息。

当初DOS绝不是随便定下16×16，即16行与16列的标准的。在计算机世界里，8位比特（bit）组成一个字节（byte），而双字节则构成一个字。于是办法有了，用两个字节共16位比特来代表一行的信息，16行共32个字节，用某位是0还是1来控制点亮还是熄灭对应位置的像素，就能在16×16LED屏上显示汉字，存放汉字笔画信息的问题解决了。

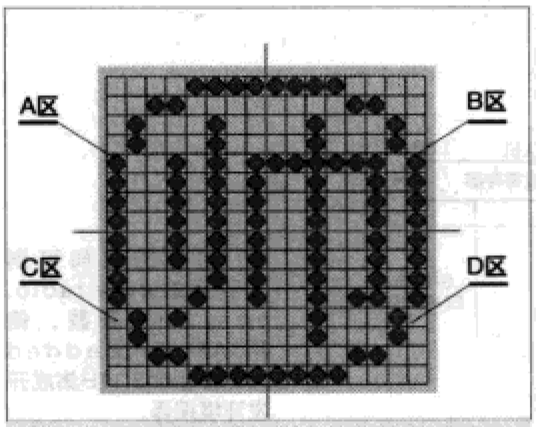


图1

下一个要解决的问题是如何得到一个汉字的点阵信息。图1所示是中国象棋中的帅字，我们将一个汉字的显示区域划分成4个8×8的子区，即A区、B区、C区、D区。显而易见，可以用一个字节来代表一个子区中一行的信息，32个字节就能表示4个子区。获取点阵信息的方法也就随之产生了，我们只要按照某种顺序，依次将这些信息存入一个容量为32的数组就可以了。存取的顺序可以有多种，比如A、B、C、D或A、C、B、D等，存取顺序的不同，没有大的区别，只是影响将来的编程思路。以图1为例，我们按横向每行（区的顺序是A、B、C、D）的顺序取得的数据如下（C 语言的表示方式）：

0x0F,	0xF0,	0x30,	0x0C,	0x44,	0x22,	0x44,	0x22,
A	B	A	B	A	B	A	B
0x95,	0xFD,	0x95,	0x25,	0x95,	0x25,	0x95,	0x25,
A	B	A	B	A	B	A	B
0x95,	0x25,	0x95,	0x25,	0x85,	0x25,	0x89,	0x2D,
C	D	C	D	C	D	C	D
0x50,	0x22,	0x40,	0x22,	0x30,	0x0C,	0x0F,	0xF0
C	D	C	D	C	D	C	D

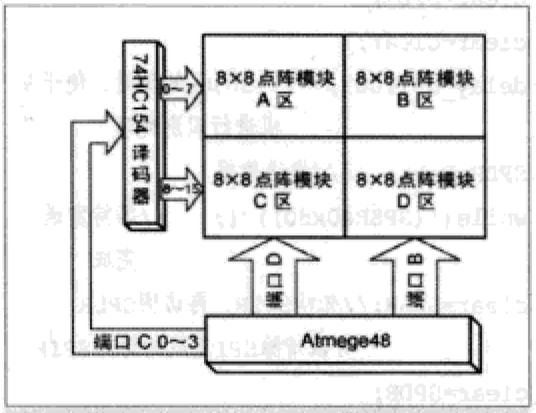


图2 系统原理图

2. 系统原理

从图2的原理图中可以看出，单片机Atmega48的3个端口几乎全部用上。端口D和端口B分别控制纵向左（A区和C区）、右（B区和D区）两组8×8点阵模块的列寻址。端口C则通过一个74HC154译码器将4位地址值转换成15个行控制信号。在硬件设计上，这15个控制信号也被分成两组，分别控制横向的上（A区和B区）、下（C区和D区）两组8×8点阵模块的行寻址。

4个8×8LED模块与单片机端口的寻址关系如图3所示。搞清这些关系将是软件设计的基础。

硬件介绍

1. 单片机主控板

图4所示是麦克鼠工作室推出的AVR单片机最小系统，因为管脚定义完全一

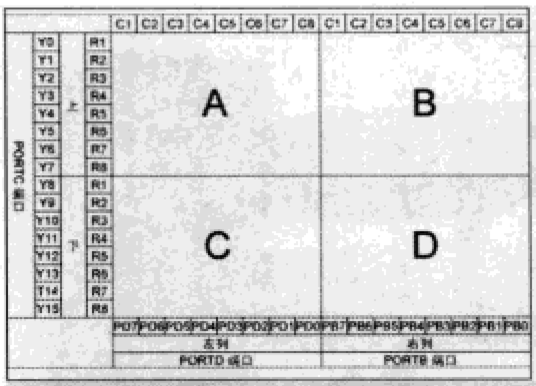


图3 4个8×8LED模块与单片机端口的寻址关系

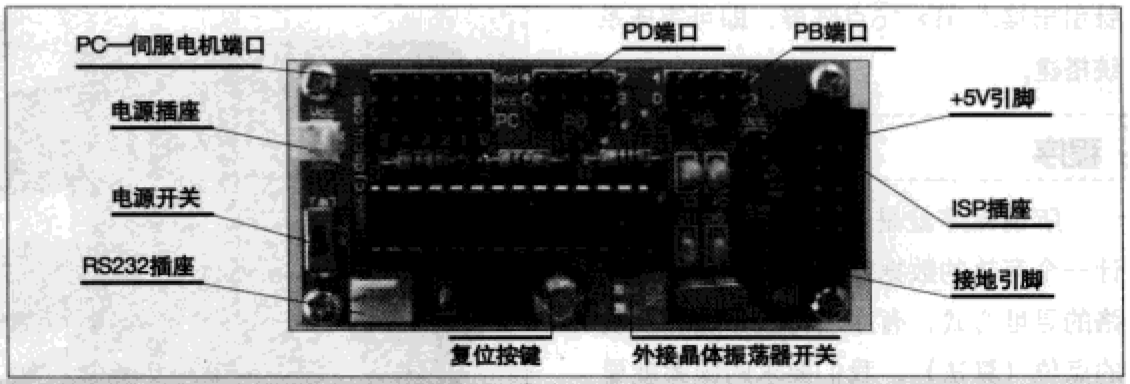


图4 AVR单片机最小系统

致，所以可换插Atmega48/88/168/328系列单片机和Atmega8单片机。这块板子的电路图见图5。

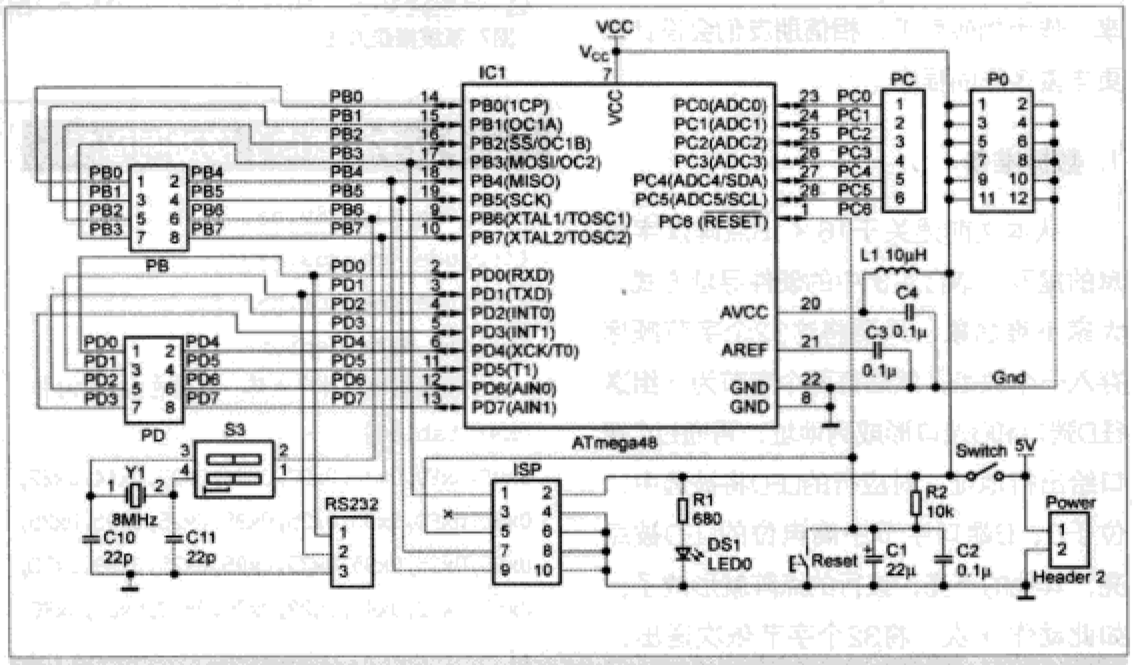


图5 AVR单片机最小系统电路图

该板子的一个设计特点是“资源全开放”，因为Atmega48系列单片机具有引脚功能复用的特点，即所有的B端口、D端口和C端口的6个引脚通过插针全部对外开放，使用者负责定义每个引脚的工作模式和状态。例如，在你的程序中使用了串口功能，D端口的PD0 和PD1两个引脚就不能用作I/O。同理，如果系统使用了外部晶体振荡器，则PB7和PB6也不能用作他用。从图4可以看出，端口B和D都将8个引脚通过排针引了出来。而端口C的设计有些独特，不但将引脚引出，还增加了一排VCC插针和一排GND插针，这主要是为了方便接插伺服电机和众多传感器而设计的。大家知道，伺服电机3根引线的排列顺序是信号、VCC、GND，很多传感器也是如此排列3根引脚，而且端口C的引脚从0至5又具有ADC的第二功能。如此一来，需要接插伺服电机和传感器时就方便多了。板子上还提供专门的位置将串口引出。而外部晶体振荡器则通过开关控制其是否接入系统。当然，改变系统振荡源时不要忘记相关标志位的设置。ISP下载部分则是标准的10针插座，可接插多种下载器。

2. 16×16点阵屏模块

这块板子上的主要元件就是4个8×8LED模块和一只74HC154地址译码器，如图6所示。本文不准备详述点阵

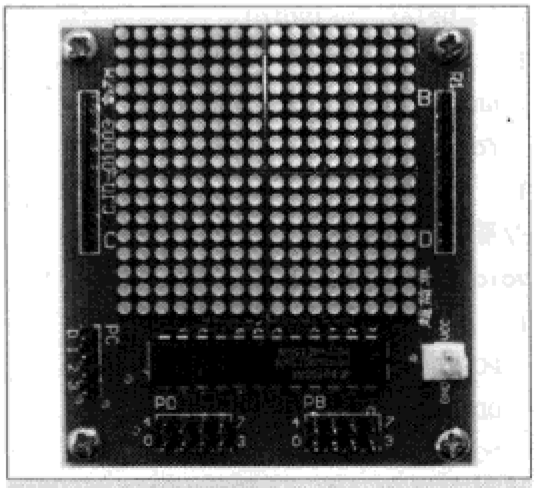


图6 16×16点阵屏模块

模块这种发光元件的基本原理，爱好者们可以找到很多相关文章，并参照本文前面的说明自行设计搭建。需要强调的是，要搞清模块的引脚排列，不同厂家的产品并不完全相同。另外要搞清模块是共阴的还是共阳的，这主要决定着地址译码器的选择。

本文中用到的这块板子使用的是共阳模块，就是当某列的引脚为高电位，而某行的引脚为低电位时，处于该行与该列交叉点的LED被点亮。74HC154译码器的输出为低电平有效，因此，当单片机端口B和D的某个引脚输出高电位即1时，此时74HC154译码器的某个引脚有效（输出低电平），则处于交叉点的LED被点亮。

3. 系统搭建

系统搭建非常简单，如图7所示。使用两根8线排缆将单片机主控板的D端口和B端口分别与16×16点阵屏的对应端口插接，用一组4线杜邦头的跳线将单片机主控板C端口的0~3 与16×16点阵屏的4位地址线接插，另用一根电源引线通过单片机主控板C端口任意一组VCC、GND插

针引出接入16×16点阵屏，即可完成系统搭建。

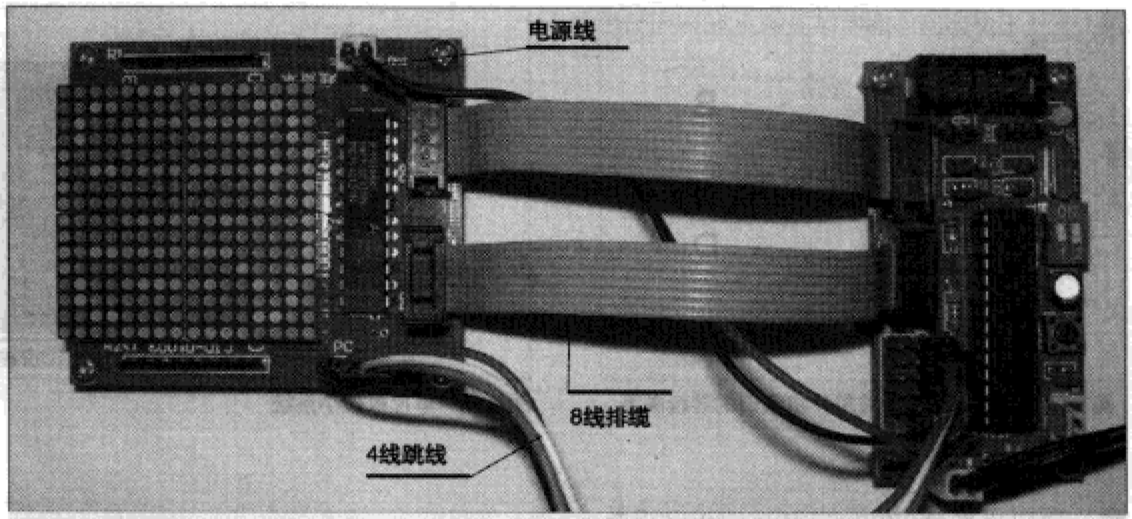


图7 系统搭建方法

程序

所谓程序就是数据+算法。首先设计一个有效的数据结构，再根据硬件电路的寻址方式，有序地将数据送达正确的点位（算法），我们要求的图案就显示出来了。

笔者选取了几个例子与爱好者朋友分享，作为抛砖引玉，相信朋友们会设计出更丰富多彩的程序。

1. 数据准备

从本文前述关于16×16点阵汉字信息的提取，结合实例中的硬件寻址方式，大家不难想象，只要将这32个字节顺序存入一个数组，然后每两个字节为一组送往D端口和B端口形成列地址，再通过C端口给出行地址，对应行的LED将被选中，位于D、B端口字节中高电位的LED被点亮，其他的不亮，该行的点阵就形成了。如此动作16次，将32个字节依次送出，一帧（16×16点阵）的图案就显示出来了。我们只要以小于1ms的时间间隔循环做这组动作，一个汉字（或图案）就能稳定地显示在点阵屏上。

2. 文字上下滚动

让汉字在16×16点阵屏上、下滚动（垂直移动）是最为简单的动作。

向上滚动时的流程图如图8所示，其实现程序在ICC 7平台调试通过。这个小例程使用EEPROM存储汉字点阵信息，主要是作为练习，爱好者也可以使用RAM中的数组省去EEPROM的读动作。

3. 文字左右移动

左右移动（水平横向移动）稍微复杂一些，因为要进行数据位的循环移动。在下面的例子中，我们使用一个二维数组A_array[16][4]，目的是在汉字水平移动时有一个字的空格，当然你也可

一个汉字垂直向上移动例程序

```
#include <iom48v.h>
#include <macros.h>
#include <eeprom.h>
#pragma data:eeprom
 //中国象棋中的帅字点阵，存储在EEPROM中
char table[] = {
0x0F,0xF0,0x30,0x0C,0x44,0x22,0x44,0x22,
0x95,0xFD,0x95,0x25,0x95,0x25,0x95,0x25,
0x95,0x25,0x95,0x25,0x85,0x25,0x89,0x2D,
0x50,0x22,0x40,0x22,0x30,0x0C,0x0F,0xF0
};
#pragma data:data
//一个粗略的延时子程
void delay_1ms(void)
{
  unsigned int i;
  for (i = 1;i < 1000;i++) ;
}
//端口初始化函数
void port_init(void)
{
  PORTB = 0x00;
  DDRB  = 0xFF;
  PORTC = 0x00;
  DDRC  = 0x0F;
  PORTD = 0x00;
  DDRD  = 0xFF;
}
void main(void)
{
  char i,K,L;
  char B_port[32];
  port_init(); //数据准备
  for (i = 0;i <32;i++)
 {//从EEPROM 读出数据，初始化数组B_port。
  EEPROM_READ(i, B_port[i]);
  }
 K = 0;  //初始化计数变量K
 while(1)        //无限循环
 {
  for(L=0;L<10;L++)//滚屏速度控制
  {
   for(i=0;i<16;i++)//点阵屏刷新
   {
    PORTD=B_port[i*2];//送端口D
    PORTB=B_port[i*2+1];//送端口B
    PORTC= i;//行寻址
    delay_1ms();
   }
  }
  //将数组中的数据都顺序向前移动一排
  for (i = 0;i < 29;i+=2)
  {
   B_port[i] = B_port[i+2];
   B_port[i+1] = B_port[i+3];
  }
  //从EEPROM中取出两个字节，填充到数组最后两个单元中
  EEPROM_READ(K, B_port[30]);
  K++;
  EEPROM_READ(K, B_port[31]);
  K++;
  if (K >= 32)  //行更新计数
  K = 0;
  }
 }
```

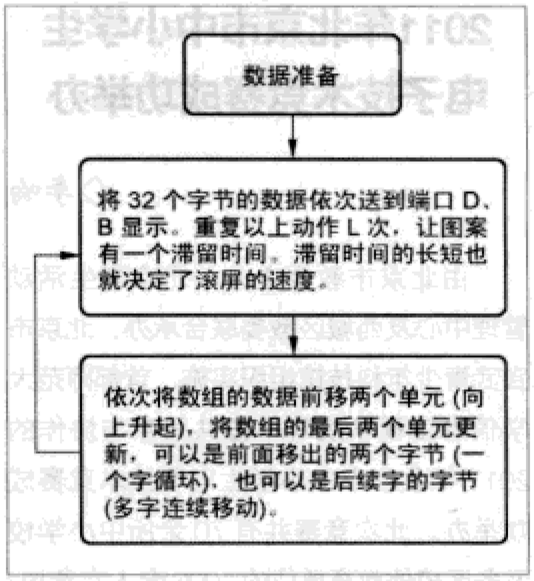


图8 文字向上滚动的流程图

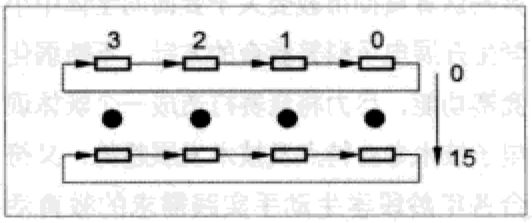


图9 数组A_array[16][4]的移动动作顺序

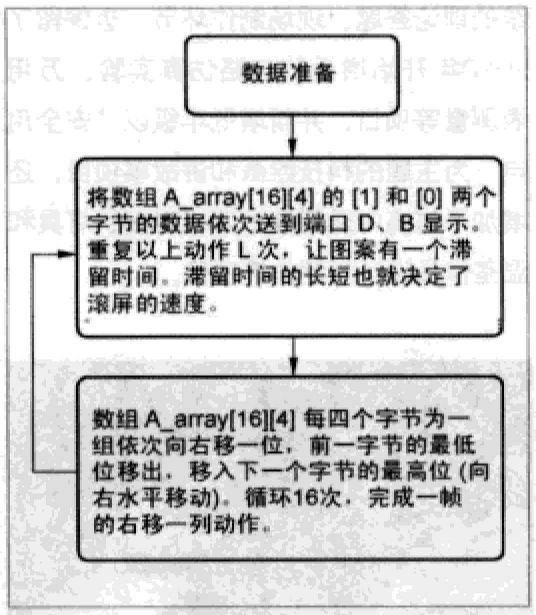


图10 文字向右移动的流程图

以试着只留半个空格或不留空格。此例程没有使用EEPROM，而是在RAM中建立一个存放点阵数据的数组table[]。在数据准备阶段，将数组table[]中的数据导入数组A_array[16][4]的后两列，即A_array[16][3]和A_array[16][2]。显示完一帧后，再对这16组4个字节向右移位，实现整帧的右移。数组A_array[16][4]的移动动作顺序如图9所示，该例程的流程图如图10所示。

向右水平移动汉字例程序

```
#include <iom48v.h>
#include <macros.h>
 //中国象棋中的帅字点阵，以数组形式存储在
RAM中
char table[] = {
0x0F,0xF0,0x30,0x0C,0x44,0x22,0x44,0x22,
0x95,0xFD,0x95,0x25,0x95,0x25,0x95,0x25,
0x95,0x25,0x95,0x25,0x85,0x25,0x89,0x2D,
0x50,0x22,0x40,0x22,0x30,0x0C,0x0F,0xF0};
//工作数组
char A_array[16][4];
//一个粗略的延时子程
void delay_1ms(void)
{
 unsigned int i;
 for (i = 1;i < 1000;i++) ;
}
//端口初始化函数
void port_init(void)
{
 PORTB = 0x00;
 DDRB  = 0xFF;
 PORTC = 0x00;
 DDRC  = 0x0F;
 PORTD = 0x00;
 DDRD  = 0xFF;
}
//数据准备函数
void A_arr_prepare(void)
{
 char i,j;
 for (i = 0;i < 16;i++)
  {
  j = i * 2;
  A_array[i][3] = table[j];
  A_array[i][2] = table[j+1];
  A_array[i][1] = 0;
  A_array[i][0] = 0;
 }
}
void main(void)
{
 char i,L;
 char m0,m1,m2,m3;
 //用于存储移出位的变量
 port_init();
 //数据准备
 A_arr_prepare();
 while(1)
 {
  for(L=0;L < 10;L++)//滚屏速度控制
  {
   for(i=0;i<16;i++)//点阵屏刷新
   {
    PORTD = A_array[i][1];
    PORTB = A_array[i][0];
    PORTC = i;
    delay_1ms();
   }
  }
  //整屏数据右移一列
  for (i = 0;i < 16;i++)
  {
   if (A_array[i][0] & 0x01 == 1)
   //保留移出位
   m0 = 0x80;  //如果是1，保留在高位。
   else
   m0 = 0;
   if (A_array[i][1] & 0x01 == 1)
   m1 = 0x80;
   else
   m1 = 0;
   if (A_array[i][2] & 0x01 == 1)
   m2 = 0x80;
   else
   m2 = 0;
   if (A_array[i][3] & 0x01 == 1)
   m3 = 0x80;
   else
   m3 = 0;
   A_array[i][3]=A_array[i]
   [3]>>1;// 字节右移一位
     A_array[i][3]=A_array[i][3] |
   m0;
   //将前一字节的高位移入
   A_array[i][2]=A_array[i][2]>>1;
   A_array[i][2]=A_array[i][2] | m3;
   A_array[i][1]=A_array[i][1]>>1;
   A_array[i][1]=A_array[i][1] | m2;
   A_array[i][0]=A_array[i][0]>>1;
   A_array[i][0]=A_array[i][0] | m1;
  }
 }
}
```

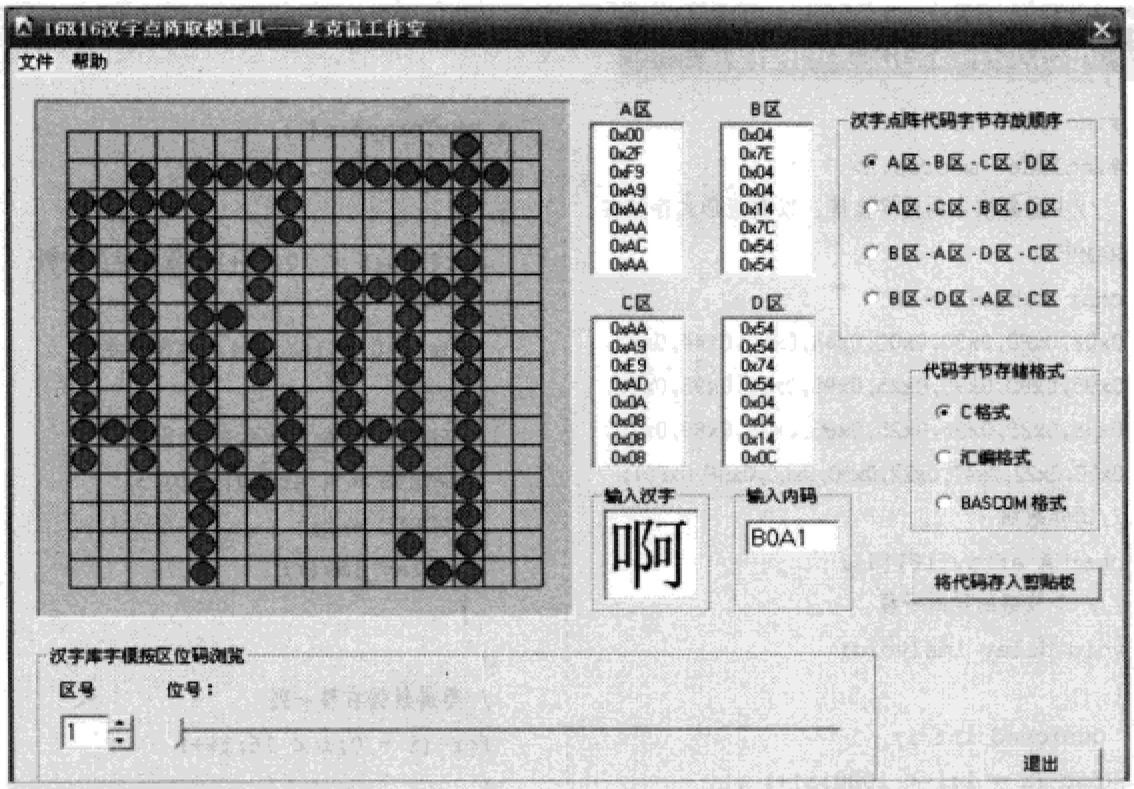


图11 汉字像素提取小工具Font_Op

拓展练习

本文仅对16×16点阵屏做一浅显介绍，相信单片机爱好者可以借助这个小平台玩出许多花样，例如对角移动、中心开花、中心会聚、对称分开或合拢，以及多字连续移动等。文中例程序是用C语言写的，也可以使用BASIC语言，里面的一些函数可以改成汇编语言的，将会显著提高效率。现在，很多爱好者玩起了Arduino，同样可以驱动这个16×16点阵屏，只是由于Arduino端口开放得不全，所以要加锁存器，并分步传送数据，程序会稍微复杂些，但基本思路是相似的。

汉字字模信息处理软件

为配合16×16点阵屏实验，麦克鼠工作室开发了一款汉字像素提取小工具Font_Op，如图11所示，它的使用方法非常简单。

首先，该工具界面的左侧为一16×16灰色小方格代表的像素点阵，使用者用鼠标点击任意方格，方格会变成红色实心圆图案，表示被选中。再点击一次，又变回灰色方格，表示没有选中，如此操作，使用者可以自己画出图案。

当然，最常用的方法还是在“输入汉字”区里输入一个汉字，然后按Tab键，该汉字的像素图案就会自动显示在上述16×16方格点阵中，同时“输入内码”区中会出现该汉字的内码。如果知道内码，可直接输入，然后按Tab键，也可得到汉字的点阵。

也可选择“区号”，然后拉动“位号”滑竿，浏览字库中的字模。

选好的字模被自动分成A、B、C、D等4个区，共32个字节，用16进制显示。你可以选择16进制的格式，共有C、BASIC和汇编3种语言所用的格式。

最后点击“将代码存入剪贴板”按钮，程序会按照你选择的“汉字点阵代码字节存放顺序”将数据存入剪贴板。然后转换到你的开发工作界面，利用粘贴功能，以上数据就会全部贴入你的源程序中。

有了这个小工具，选择汉字点阵的工作会变得非常轻松自如。除此之外；你还可以自创图案，使你的点阵屏变得更加有声有色。

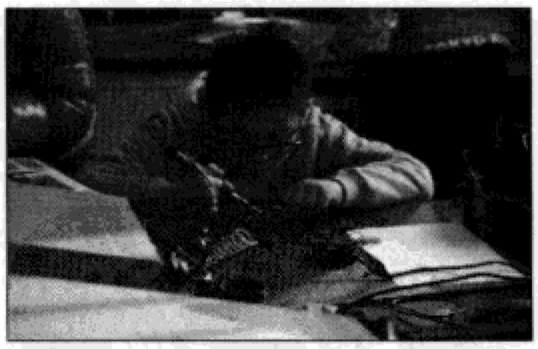
例程序和Font_Op工具可在《无线电》杂志网站www.radio.com.cn和麦克鼠工作室网站www.machmouse.com自由下载。

2011年北京市中小学生电子技术竞赛成功举办

◇李响

由北京市教委主办，北京学生活动管理中心及西城区教委联合承办，北京市宣武青少年科技馆组织实施，首都师范大学信息工程学院等单位共同参与协作的2011年北京市中小学生电子技术竞赛成功举办。此次竞赛共有70余所中小学校及各区校外教育单位的1000余人次参加。

近年来，北京市中小学生电子技术竞赛认真贯彻市教委关于要面向全体中小学生开展电子科普教育的方针，不断弱化竞赛功能，尽力将竞赛打造成一个既体现电子技术专业特点及技术发展趋势，又符合各年龄段学生动手实践需求的教育活动。因此，2011年的比赛项目包含了传统的理论答题、现场制作环节，也保留了2010年开始增设的电路仿真实验、万用表测量等项目，并新增低年级以“安全用电”为主题的科技绘画和讲故事项目，还增加了与高中通用技术课相对接的灯具和温室作品设计与制作等项目。


小学组比赛现场

中学组比赛现场

单片机开发实例及程序研究 ◇周兴华

51单片机驱动彩屏的设计

TFT-LCD（Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display）即真彩液晶显示器，也称为薄膜晶体管液晶显示器，即我们俗称的“彩屏”。TFT-LCD 与无源TN-LCD、STN-LCD的简单矩阵不同，它在液晶显示屏的每一个像素上都设置有一个薄膜晶体管（TFT），可有效地克服非选通时的串扰，使显示液晶屏的静态特性与扫描线数无关，因此大大提高了图像质量。

TFT-LCD的用途非常广泛，可用于一切需要高品质显示的场合，如液晶电视、手机、医疗仪器等。

TFT-LCD可依显示屏的尺寸大小分类，这里我们使用2.4英寸的TFT-LCD进行学习、实验，它具有320×240的分辨率、16位真彩显示，驱动控制器为ILI9325，采用16位的并口与单片机通信。

TFT-LCD有一个用字母G1和S1表示开始的位置，我们可以称它为物理起始地址，图1为其示意图。每一行用3个S表示一个点，所以每一行是从S1到S720。每一列用一个G表示一个点，所以每一列是从G1到G320。

驱动TFT-LCD时，每个点用2个字节表示颜色，按设定的方向刷新320×240个点，就可以显示一张图片，如图2所示。

目前大部分的小尺寸TFT-LCD使用ILI9325作为控制器，ILI9325自带显存，液晶模块的16位数据线与显示的对应关系为565方式，即数据线低5位负责驱动蓝色像素，数据线高5位负责驱动红色像素，中间的6位数据线负责驱动绿色像素，如图3所示。数值越大，表示该颜色越深。

ILI9325的几个重要控制命令

ILI9325的控制寄存器及控制命令很多，限于篇幅，我们不可能一一介绍，有兴趣的读者可以看一下ILI9325的Datasheet。这里我们只介绍ILI9325的几个重要控制寄存器及控制命令。

★ **R0寄存器**：这个寄存器的命令，有两个功能，如果对它写，则最低位为OSC，用于开启或关闭晶体振荡器。而如

表1 TFT-LCD的信号连线

CS	TFTLCD 片选信号
WR	向 TFTLCD 写入数据
RD	从 TFTLCD 读取数据
D[15:0]	16位双向数据线
RST	复位信号
RS	命令/数据选择（0：读写命令；1：读写数据）

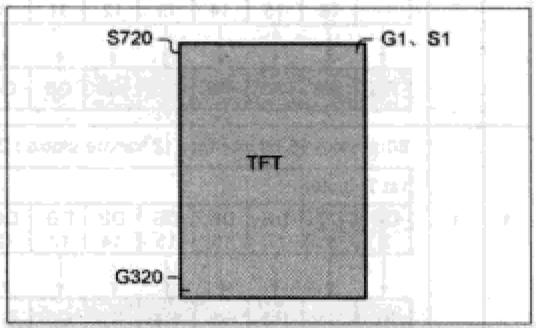


图1 TFT-LCD中G1和S1开始的位置示意图

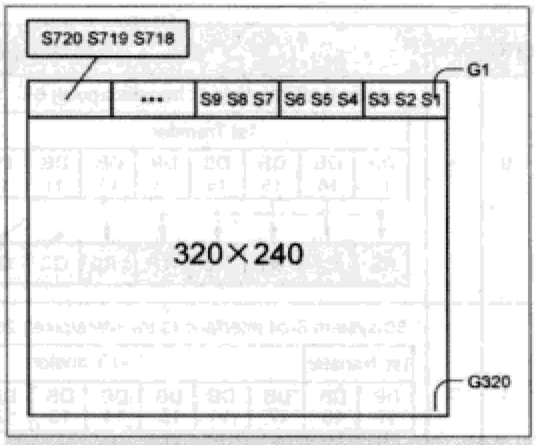


图2 320×240个点可以显示一张图片

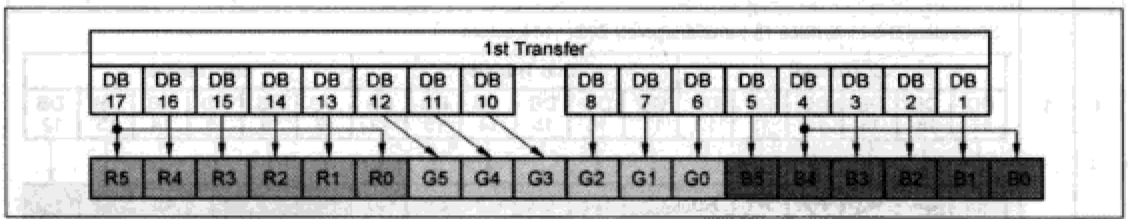


图3 16位数据与显存对应关系图

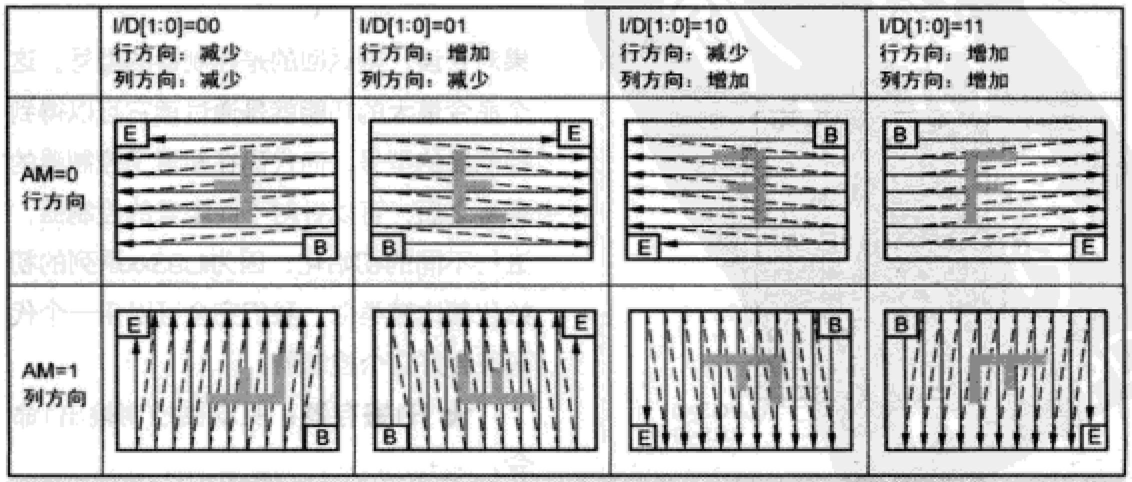


图4 GRAM显示方向设置图

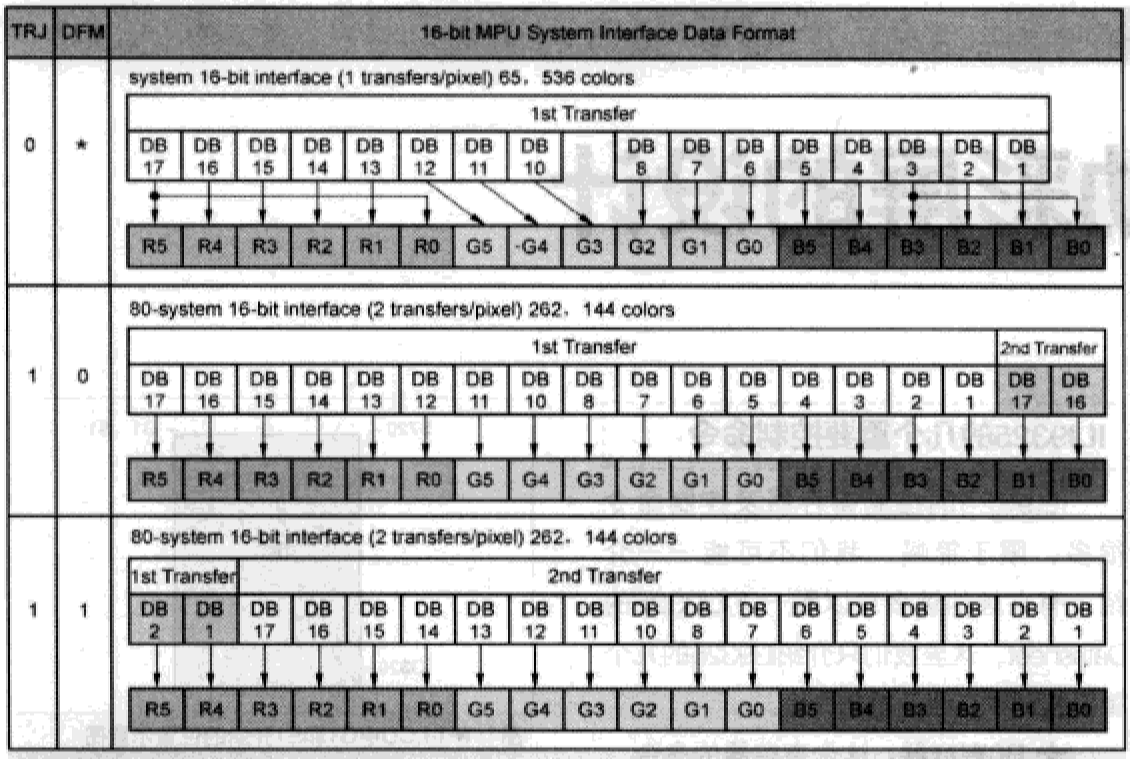


图5 16位数据传送与显存对应关系图

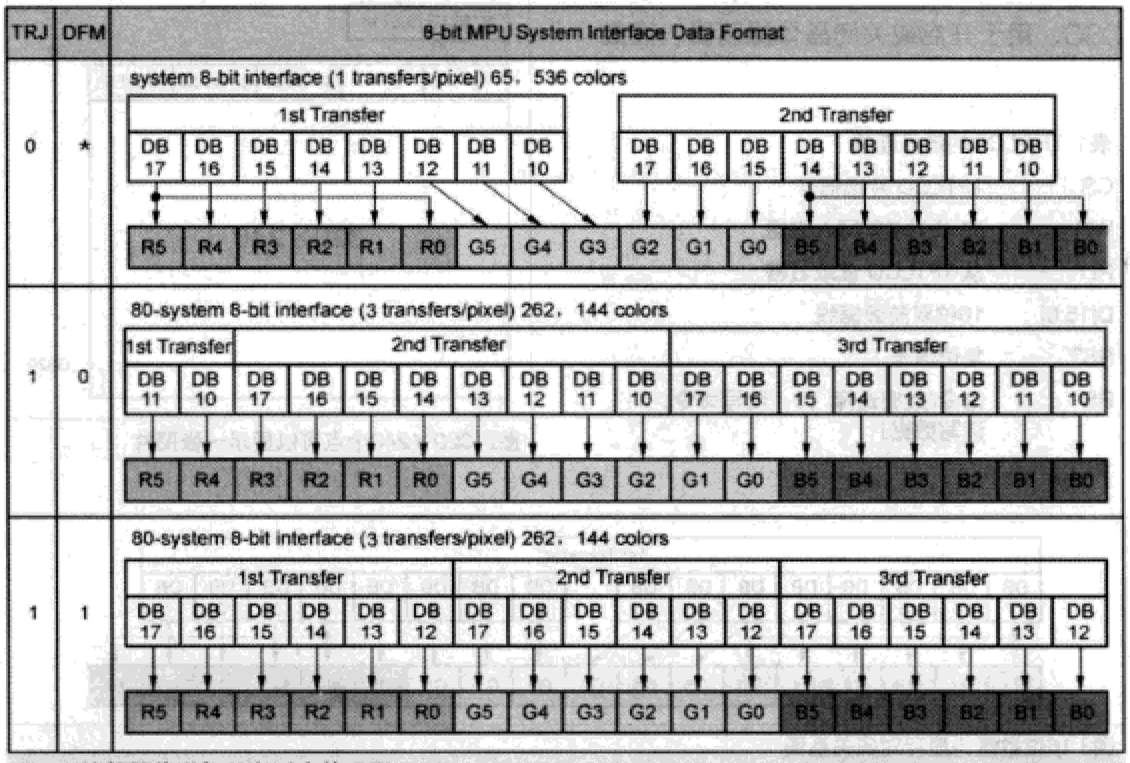


图6 8位数据传送与显存对应关系图

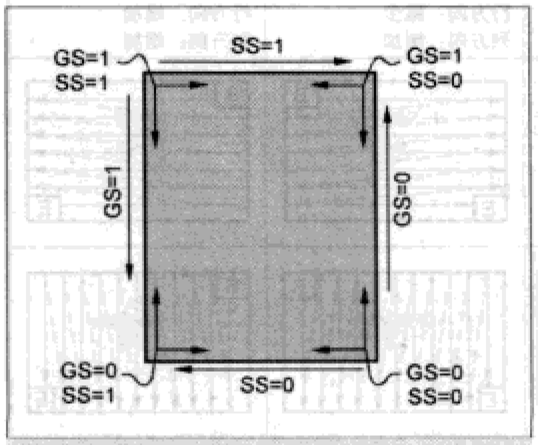


图7 坐标点位置的扫描由SS和GS确定

表2 RSZ的设置效果

RSZ[1:0]	缩放效果
00	不缩放(1倍)
01	1/2倍
10	禁止设置
11	1/4倍

果对它读，则返回的是控制器的型号。这个命令最大的功能就是通过读它可以得到控制器的型号，而代码在知道了控制器的型号之后，可以针对不同型号的控制器，进行不同的初始化。因为ILI93xx系列的初始化都比较类似，我们完全可以用一个代码兼容好几个控制器。

★ **R1寄存器**：驱动器控制输出1命令。

SS:源驱动器选择输出的方向。当SS=0时，输出方向是从S1到S720，当SS=1时，输出方向是从S720到S1。

★ **R3寄存器**：入口模式命令。我们需要重点关注下面的几个位。

AM：控制GRAM更新方向。当AM=0时，地址以行方向（水平方向）更新。当AM=1时，地址以列方向（垂直方向）更新。

I/D[1:0]：控制扫描方式。

当更新了一个数据之后，根据这两个位的设置来控制显存GRAM地址计数器自动增加或减少1，其关系如图4所示。

ORG：当一个窗口（需要进行显示的屏幕的某一区域称之为窗口）的地址区域确定以后，根据上面I/D的设置来移动原始地址。当高速写窗口地址域时，这个功能将被使能。当ORG=0时，原始地址不移动，通过指定GRAM地址来进行写操作。在进行读操作时，要保证ORG=0。当ORG=1时，原始地址通过I/D的设置进行相应的移动。此时，R20H、R21H的原始地址只能设置为0x0000。

BGR：交换写数据中红和蓝。当BGR=0时，根据RGB顺序写像素点的数据。当BGR=1时，交换RGB数据为BGR，写入GRAM。

TRI：当TRI=1时，在8位数据模式下，以 8bit×3传输，也就是传输3个字节到TFT-LCD。当TRI=0时，以16位数据模式传输。

DFI：设置TFT-LCD内部传输数据的模式。这要和TRI联合起来使用。

通过这几个位的设置，我们就可以控制屏幕的显示方向了。图5所示的是16位数据传送与显存对应关系图，图6所示的是8位数据传送与显存对应关系图。

表3 ILI9325常用命令表

编号	指令	各位描述																命令
	HEX	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
R0	0x00	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	OSC	打开晶体振荡器/读取控制器型号
		1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	
R3	0x03	TRI	DFM	0	BGR	0	0	HWM	0	ORG	0	I/D1	I/D0	AM	0	0	0	入口模式
R7	0x07	0	0	PTDE1	PTDE0	0	0	0	BASEE	0	0	GON	DTE	CL	0	D1	D0	显示控制
R32	0x20	0	0	0	0	0	0	0	0	AD7	AD6	AD5	AD4	AD3	AD2	AD1	AD0	行地址（X）设置
R33	0x21	0	0	0	0	0	0	0	AD16	AD15	AD14	AD13	AD12	AD11	AD10	AD9	AD8	列地址（Y）设置
R34	0x22	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC'	写数据到GRAM
R80	0x50	0	0	0	0	0	0	0	0	HSA7	HSA6	HSA5	HSA4	HSA3	HSA2	HSA1	HSA0	行起始地址（X）设置
R81	0x51	0	0	0	0	0	0	0	0	HEA7	HEA6	HEA5	HEA4	HEA3	HEA2	HEA1	HEA0	行结束地址（X）设置
R82	0x52	0	0	0	0	0	0	0	VSA8	VSA7	VSA6	VSA5	VSA4	VSA3	VSA2	VSA1	VSA0	列起始地址（Y）设置
R83	0x53	0	0	0	0	0	0	0	VEA8	VEA7	VEA6	VEA5	VEA4	VEA3	VEA2	VEA1	VEA0	列结束地址（Y）设置

★ R4寄存器：调整大小控制命令。

RSZ[1:0]：设置调整参数。当设置了RSZ后，ILI9325将会根据RSZ设置的参数来调整显示区域大小，这个时候水平和垂直方向的区域都会改变。

RCH[1:0]：当调整图像大小时，设置水平余下的像素点的个数。实际上就是拿当前的图像的水平像素个数和缩小后水平像素个数取模，原因是图像不可能正好能被缩小成1/2，或者1/4，比如图像的水平像素点是15个，如果需要缩小为1/2，但是15除以2是有余数的，余数为1，RCH[1:0]这个时候就设置为1，实际上就是保证原始图像水平减去几个像素点正好能被RSZ除尽。

RCV[1:0]:同上面的RCH的原理是一样的，这是用来保证垂直方向上减去几个像素点正好能被RSZ除尽的。

★ R7寄存器：显示控制命令。

CL：用来控制显示8位彩色还是26万色。为CL= 0时，显示26万色，当CL=1时，显示8位彩色。

D1、D0、BASEE：这3个位用来控制显示开关与否。当全部设置为1时，开启显示，全部为0时，关闭显示。我们一般通过该命令的设置来开启或关闭显示器，以降低功耗。

★ R32、R33寄存器：设置 GRAM的行地址和列地址命令。R32 用于设置列地址（X坐标，0~239），R33用于设置行地址（Y坐标，0~319）。当我们要在某个指定点写入一个颜色的时候，先通过这两个命令设置到新的点，然后写入颜色值就可以了。

★ R34寄存器：写数据到GRAM命令，当写入了这个命令之后，地址计数器才会自动增加和减少。该命令是我们介绍的这几个控制命令中唯一的单操作命令，只需要写入数值就可，而其他的控制命令都要先写入命令编号，然后写入操作数。

★ R60寄存器：驱动器控制输出2命令。

GS：源驱动器选择输出的方向。当GS=0时，输出方向是从G1到G320，当GS=1时，输出方向是从G320到G1。

坐标点位置的扫描由SS和GS确定，对应R1和R60的命令，如图7所示。

★ R80~R83寄存器：行列GRAM地址位置设置。这几个命令用于设定显示区域的大小，整个屏的大小为240×320，但是有时候只需要在其中的一部分区域（窗口）写入数据，如果用先写坐标，后写数据这样的方式来实现，则速度大打折

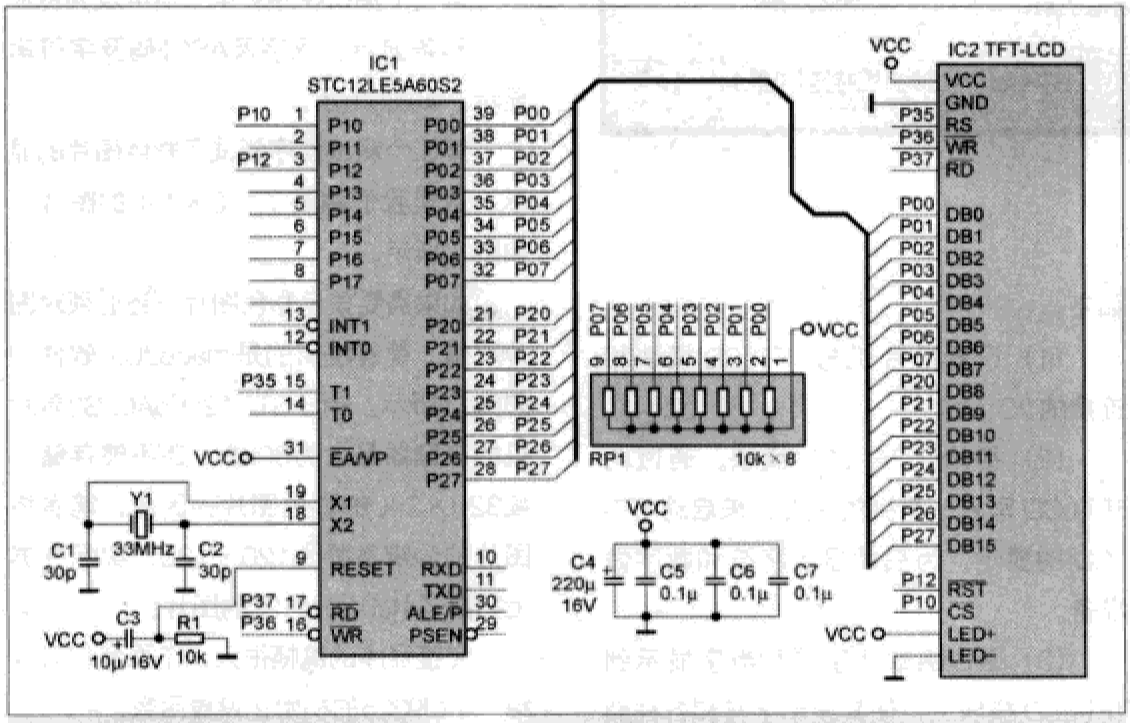


图8 51单片机与TFT-LCD模块的连接电路图

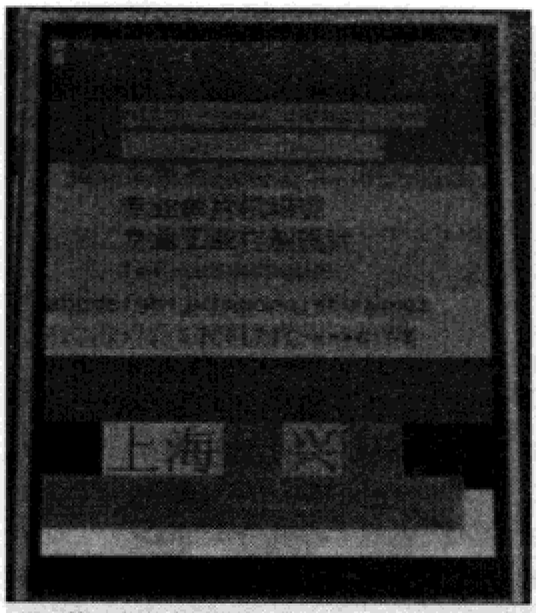


图9 第一个测试程序的运行效果

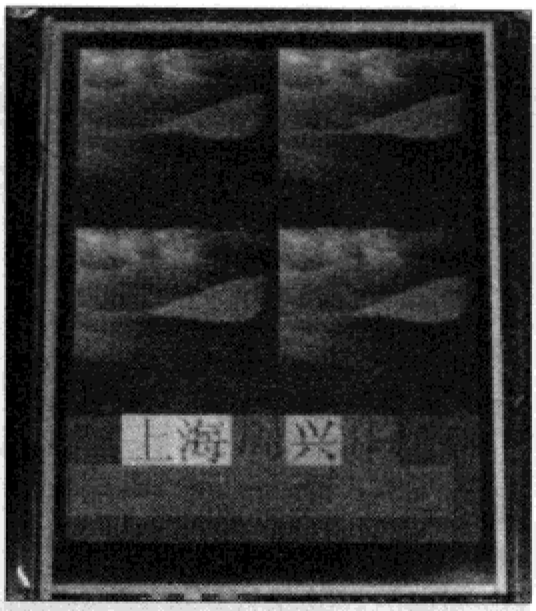


图10 第二个测试程序的运行效果

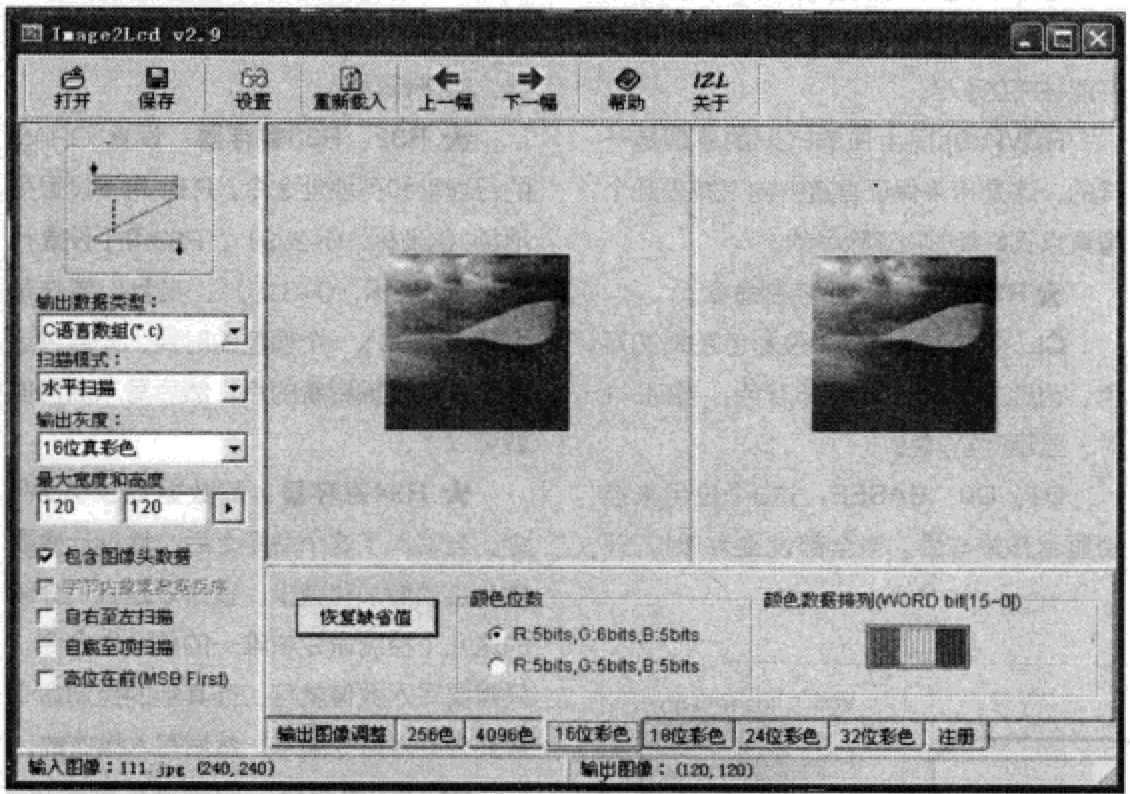


图11 使用Image2Lcd软件对图片取模

扣。此时我们就可以通过这几个命令，在其中开辟一个区域，然后不停地传送数据，地址计数器就会根据 R3 的设置自动增加、减少，这样就不需要频繁地写地址了，大大提高了刷新的速度。常用的几个命令如表3所示。

TFT-LCD显示的相关设置步骤

TFT-LCD显示需要的相关设置步骤如下：

（1）设置单片机与 TFT-LCD 模块相连接的 I/O 口线。

（2）初始化 TFT-LCD 模块。通过向 TFT-LCD 写入一系列的设置，来启动 TFT-LCD 的显示，为后续显示字符和数字做准备。

（3）通过函数将字符和数字显示到 TFT-LCD 模块上，使其显示字符和各种颜色的图案。

图8所示的是51单片机与某TFT-LCD模块的连接电路图，注意，选购TFT-LCD模块时必须了解该模块是5V电压供电还是3.3V电压供电。有的TFT-LCD模块上带有3.3V的稳压器及5.5V-3.3V信号电平转换电路，那么我们可以直接用5V供电，当然也可直接使用5V工作的单片机对其驱动。如果你购买的TFT-LCD模块无上述电路，那么必须使用3.3V的低压工作单片机对其驱动，当然工作电压也必须是3.3V。

TFT-LCD模块显示的软件设计

与其他液晶模块的驱动设计相仿，为了实现对TFT-LCD模块的高效控制，必须按照模块设计方式，建立起相关的子程序。

对TFT-LCD模块的驱动是首先进行初始化，然后进行有关的读写操作，使其显示出我们需要的内容。

这里笔者提供了两个测试程序（test_TFT1及test_TFT2），由于篇幅较大，读者可到无线电杂志的网站（www.radio.com.cn）上下载，也可访问作者的网站（www.zxhmcu.com），以交流更多单片机的设计使用心得。

第一个测试程序测试了清屏及颜色显示、彩条显示、汉字及ASCII码及字符串显示，如图9所示。

第二个测试程序测试了彩色图片的显示，这里我们测试了120×120的图片，如图10所示。

如果需要显示彩色图片，还必须对图片取模。笔者使用的是Image2Lcd软件，如图11所示。由于STC12LE5A60S2单片机的存储器最大为60KB，还不够存储一幅320×240的彩色图片，因此，笔者将图片的分辨率降为120×120，实际在屏上扫描了4幅120×120的图片。

完整程序的篇幅很大，下面我们只介绍一下ILI9325的初始化设置函数。

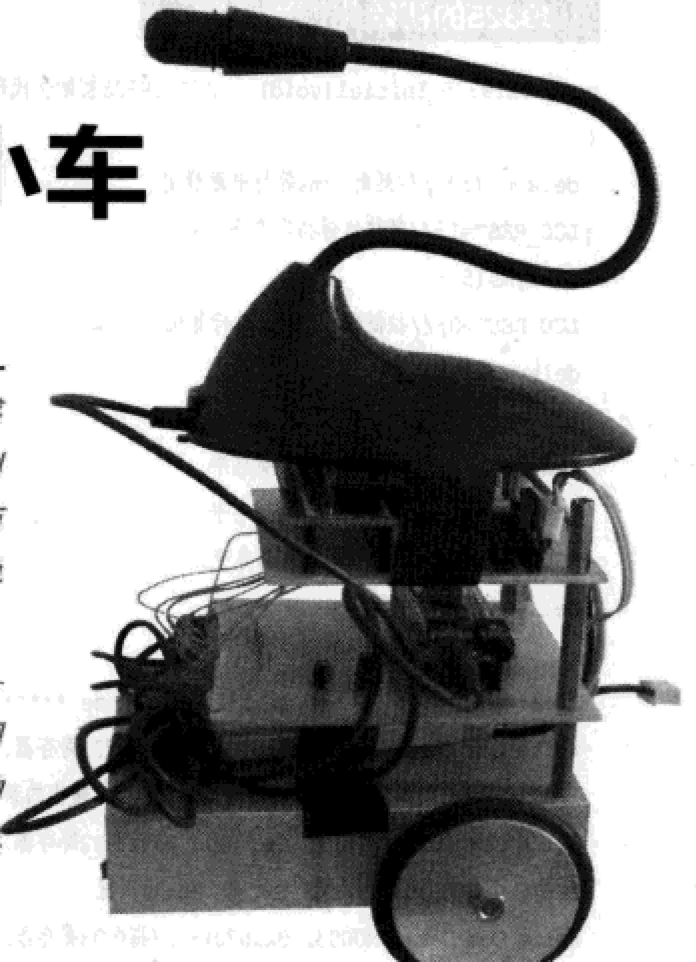
ILI9325的初始化设置函数

```
void ILI9325_Initial(void)    //ILI9325初始化代码
{
  delayms(50);//延时50ms等待电源稳定
  LCD_REST=1;//复位线保持高电平5ms
  delayms(5);
  LCD_REST=0;//拉低复位线5ms进行复位
  delayms(5);
  LCD_REST=1;//恢复复位线高电平
  LCD_CS=1;//片选控制线恢复高电平
  LCD_RD=1;//读取控制线恢复高电平
  LCD_WR=1;//写入控制线恢复高电平
  delayms(5);//延时5ms

  //************* Start Initial Sequence **********//
  Write_Com_Data(0x0001, 0x0100); //指向01寄存器，设定屏幕扫描方式：
  //SS=0，输出的移动方向是从S1到S720，SS=1，输出的移动方向是从S720到S1
  Write_Com_Data(0x0002, 0x0700); //指向02寄存器，屏幕驱动波形控制：
  //B/C=1、EOR=1：行倒置，B/C=0：帧/场倒置
  Write_Com_Data(0x0003, 0x1030); //指向03寄存器，设定屏幕进入模式：
  //AM=0，地址在水平方向自动加1，I/D[1:0] = 11，水平垂直方向均增加，
  //BGR=1，采用BGR格式
  Write_Com_Data(0x0004, 0x0000); //指向04寄存器，比例缩放设置：不缩放
  Write_Com_Data(0x0008, 0x0207); //指向08寄存器，设置后边沿和前沿
  Write_Com_Data(0x0009, 0x0000); //指向09寄存器，设置非显示区
  //时间间隔ISC[3:0]
  Write_Com_Data(0x000A, 0x0000); //指向0A寄存器，帧标志的功能
  Write_Com_Data(0x000C, 0x0000); //指向0C，RGB显示接口控制1
  Write_Com_Data(0x000D, 0x0000); //指向0D，帧标志的位置
  Write_Com_Data(0x000F, 0x0000); //指向0F，RGB显示接口控制2

  //*************Power On sequence ****************//
  Write_Com_Data(0x0010, 0x0000); //指向10寄存器，功率控制1
  Write_Com_Data(0x0011, 0x0007); //指向11寄存器，功率控制2
  Write_Com_Data(0x0012, 0x0000); //指向12寄存器，功率控制3
  Write_Com_Data(0x0013, 0x0000); //指向13寄存器，功率控制4
  Write_Com_Data(0x0007, 0x0001);
  delayms(200); // Dis-charge capacitor power voltage
  Write_Com_Data(0x0010, 0x1290); //指向10寄存器，功率控制1
  Write_Com_Data(0x0011, 0x0227); //指向11寄存器，功率控制2

  Write_Com_Data(0x0012, 0x001D); //指向12寄存器，功率控制3
  Write_Com_Data(0x0013, 0x1500); //指向13寄存器，功率控制4
  Write_Com_Data(0x0029, 0x0018); //电力控制7
  Write_Com_Data(0x002B, 0x000D); //帧速率和色彩控制

  Write_Com_Data(0x0020, 0x0000); // GRAM 行地址
  Write_Com_Data(0x0021, 0x0000); // GRAM 列地址

  // ---------- Adjust the Gamma Curve ---------//
  Write_Com_Data(0x0030, 0x0000); //GRAM控制
  Write_Com_Data(0x0031, 0x0404); //GRAM控制
  Write_Com_Data(0x0032, 0x0003); //GRAM控制
  Write_Com_Data(0x0035, 0x0405); //GRAM控制
  Write_Com_Data(0x0036, 0x0808); //GRAM控制
  Write_Com_Data(0x0037, 0x0407); //GRAM控制
  Write_Com_Data(0x0038, 0x0303); //GRAM控制
  Write_Com_Data(0x0039, 0x0707); //GRAM控制
  Write_Com_Data(0x003C, 0x0504); //GRAM控制
  Write_Com_Data(0x003D, 0x0808); //GRAM控制

  //----------------- Set GRAM area --------------//
  Write_Com_Data(0x0050, 0x0000); //GRAM行起始位置地址
  Write_Com_Data(0x0051, 0x00EF); //GRAM行终止位置地址
  Write_Com_Data(0x0052, 0x0000); //GRAM列起始位置地址
  Write_Com_Data(0x0053, 0x013F); //GRAM列终止位置地址
  Write_Com_Data(0x0060, 0xA700); //门扫描设置，GS=1：
  //从G320扫描到G1，320线
  Write_Com_Data(0x0061, 0x0001); //门扫描控制

  Write_Com_Data(0x006A, 0x0000); //门扫描控制

  //------------- Partial Display Control ---------//
  Write_Com_Data(0x0080, 0x0000); //局部影像1的显示位置
  Write_Com_Data(0x0081, 0x0000); //局部影像1的GRAM开始/结束地址
  Write_Com_Data(0x0082, 0x0000); //局部影像1的GRAM开始/结束地址
  Write_Com_Data(0x0083, 0x0000); //局部影像2的显示位置
  Write_Com_Data(0x0084, 0x0000); //局部影像2的GRAM开始/结束地址
  Write_Com_Data(0x0085, 0x0000); //局部影像2的GRAM开始/结束地址

  //------------ Panel Control ------------------//
  Write_Com_Data(0x0090, 0x0010); //平板接口控制1
  Write_Com_Data(0x0092, 0x0000); //平板接口控制2
  Write_Com_Data(0x0007, 0x0133); //显示控制1（显示开）
}
```

■ 相关程序可以到《无线电》杂志网站上www.radio.com.cn下载。

基于LD3320语音模块与AVR单片机的“听话”小车

◇蒋瑞挺



目前大部分所谓的“声控”，都只是通过简单的声音有无进行控制，即当传感器检测到声音时，触发一个指令。如果需要受控对象能够识别具体声音的内容，则需要涉及新兴的语音识别技术。该技术能够采集声音数据，并进行算法分析，从而识别出具体的语句。一般要实现语音识别，至少是DSP等高性能处理芯片，普通单片机自然是力不从心。

LD3320是一颗基于非特定人语音识别（SI-ASR，Speaker-Independent Automatic Speech Recognition）技术的语音识别/声控芯片，相当于将语音识别算法固化在芯片中，这样在单片机系统中使用语音识别就成为可能。当然，由于技术上的限制，这类芯片只能识别关键词，而不能将完整语句识别出来。不过在一般控制系统中，能够识别特定的关键词，已经能够满足需求。

本文基于LD3320语音模块与AVR单片机，设计了一个能听懂人话的智能小车。该小车可以接收来自普通人的声音控制，叫它前进、后退、左右转弯等。通过这类小车，大家可以体会到语音识别的魅力。

语音识别技术就是让机器通过识别和理解的过程，把语音信号转变为相应的文本或命令的高科技技术。该技术最重要的现实意义就在于提供了一种脱离按键、键盘与鼠标的基于语音的用户界面VUI（Voice User Interface）。这使得用户对于产品的操作更快速、更自然。

非特定人语音识别是语音识别技术在嵌入式应用上的分支，是一种不用针对指定发音人的识别技术。这种语音识别技术不分年龄、性别，只要发音人说的是相同的语言就可以识别。该技术的建立过程，是先对几十GB的语音数据由语言学家进行语音模型分析，再由科学家建立数学模型，然后经过反复训练、提取基元语音的细节特征以及各基元间的特征。在得到统计概率最优化意义上的各个基元语音特征后，由资深工程师将算法以及语音模型转化为硬件芯片以应用在嵌入式系统中。

非特定人语音识别技术基于关键词语列表识别，只需要设定好要识别的关键词语列表，并把这些关键词语以字符的形式传送到识别芯片内部，就可以对用户说出的关键词语进行识别，不需要用户做任何录音训练。每次识别的过程，就是把用户说出的语音内容，通过频谱转换为语音特征，和这个关键词语列表中的条目进行一一匹配，将最优匹配的一条作为识别结果。

比如在手机的应用中，这个关键词语列表的内容就是电话本中的人名、手机的菜单命令或SD卡中的歌曲名字等。不论这个列表的条目内容是什么，只需要用户设置相关的寄存器，就可以把相应的待识别条目内容以字符形式传递给识别引擎。LD3320可以识别列表中的关键词，用户说的语音可以是这个列表中任意的关键词语，而且不需要用户在识别前进行任何训练。识别引擎不关心关键词语的内容，它们可以是命令、人名、歌曲名字、操作指令等任何的汉字字符串。

每条关键词语最大可以支持的字数，从算法角度是限制在30字以内。但是从实际情况来看，用户一口气说超过8个字以上的条目时，几乎都会出现说错字、漏字、多字、打嗝、停顿等情况，这些情况会严重影响识别并造成识别错误。因而一般来说，如果要获得理想的识别效果，建议每条关键词语的字数不要过长，以免影响效果。

非特定人语音识别技术上的局限性在于：

（1）不是听写系统。

（2）不能把人的声音转换为确定的拼音串。

（3）不能任意地识别人的说话内容。

（4）不能识别关键词语列表中的某个关键词语的一部分内容，除非这一部分内容自身也是一个关键词语。

（5）不可以识别与关键词语列表中列出的关键词语不相符的情况。比如，前后加了“嗯”、“啊”之类的语气词，只说出了关键词语中的一部分而不是整个关键词语，说了没有列在关键词语列表中的词语。

硬件设计

主控制器采用ATmega16单片机，实现对LD3320的控制与识别结果的获取，以及根据结果对电机进行PWM速度与转向控制。LD3320实现对外部语音信号进行识别，并以中断的方式将识别结果上报给单片机，其与单片机的数据通信通过SPI接口实现。电机驱动芯片采用L293D，该芯片可实现对直流电机的转向控制与速度控制。整个系统的硬件实现系统架构如图1所示。

1. 主控制器模块

主控制单元ATmega16是基于增强的AVR RISC结构的低功耗8 位CMOS微控制器。由于其先进的指令集以及单时钟周期

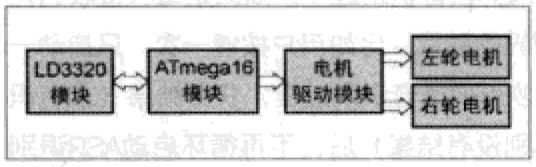


图1 硬件系统架构图

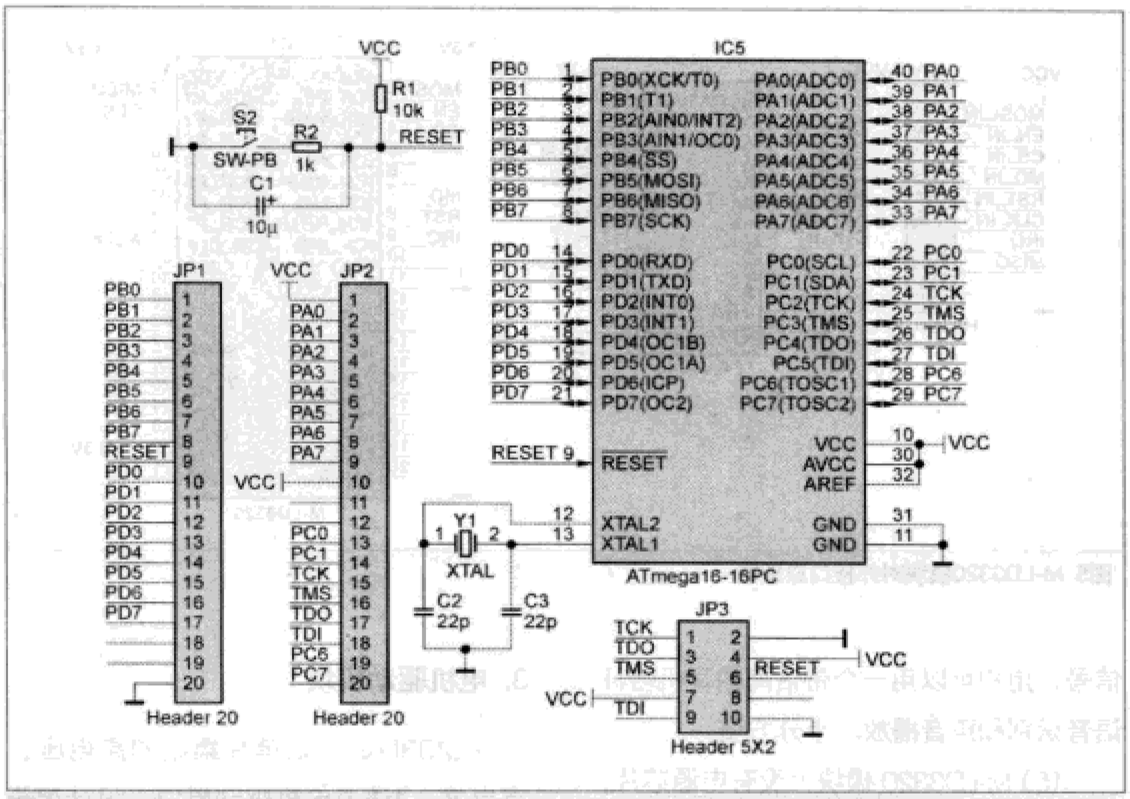


图2 Atmega16最小系统原理图

指令执行时间，ATmega16的数据吞吐率高达1 MIPS/MHz，从而可以缓减系统在功耗和处理速度之间的矛盾。该高性能单片机完全符合本设计的要求，其最小系统原理图如图2所示。

按照模块化设计思想，本文将最小系统制作成单独模块，其最终实物如图3所示。

2. M-LD3320模块

为方便用户使用LD3320芯片进行快速集成和开发，其生产商提供了基于LD3320的“M-LD3320模块”，如图4所示。该模块将LD3320芯片与周围必要的元器件集成在一块PCB上，并将LD3320的芯片管脚通过2×20的排针引出，方便用户在面包板或者标准DIP40插座等设备上对LD3320芯片进行快速开发。用户可以直接将自己的主控MCU的引脚连接到M-LD3320模块的排针上，同时给M-LD3320模块提供3.3V电源和合适的晶体振荡器信号，就可以在主控MCU中编写程序运行LD3320的语音识别功能。

M-LD3320模块主要特征有：

（1）尺寸：2cm×6.2cm。

（2）排针：2×20标准DIP40排针。

（3）LD3320芯片的音频模拟引脚连接相应的电容、电阻后通过排针引出。

（4）M-LD3320模块上设计有2个音频插座，直接引出MIC输入和扬声器输出

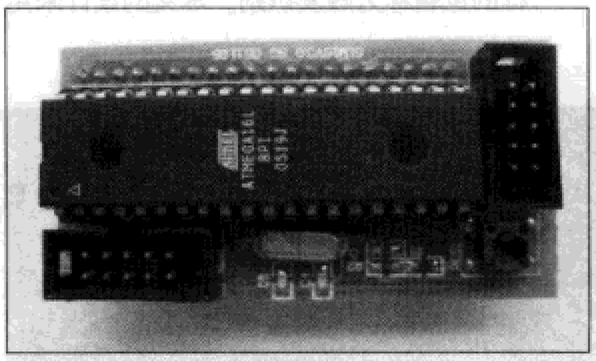


图3 ATmega16最小系统实物图

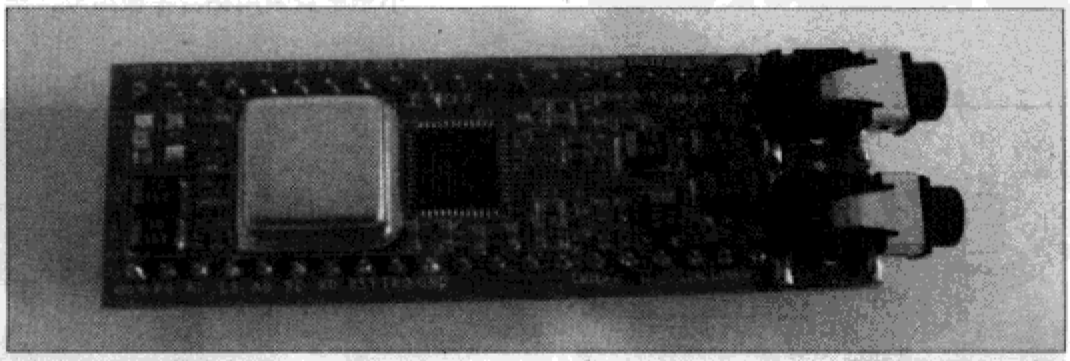


图4 M-LD3320模块实物图

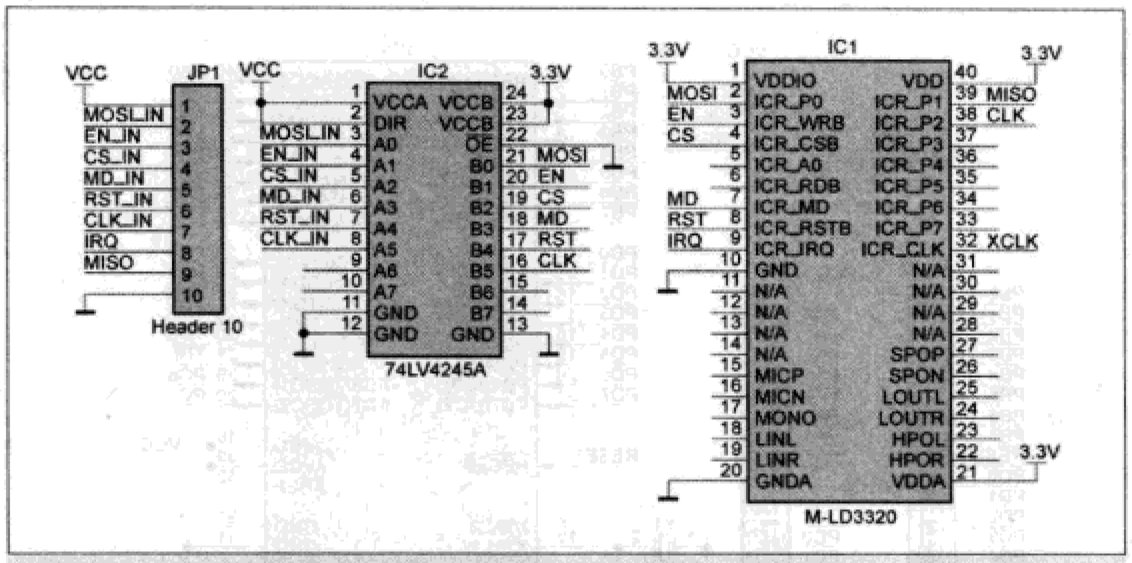


图5 M-LD3320模块对外接口原理图

表1 M-LD3320模块与单片机模块连接表

M-LD3320模块接口符号	单片机模块引脚
MOSI_IN	PA0
EN_IN	PA1
CS_IN	PA2
MD_IN	PA3
RST_IN	PA4
CLK_IN	PA5
IRQ	PD2
MISO	PC7

表2 电机驱动模块与单片机模块连接表

电机驱动模块接口符号	单片机模块引脚
EN1	PB0
IN1	PB2
IN2	PB4
EN2	PB1
IN3	PB5
IN4	PB3

信号。用户可以用一个带话筒的耳机验证语音识别和声音播放，十分方便。

(5) M-LD3320 模块上没有电源芯片，相应的电源引脚由排针引出，由开发者连接入 3.3V 电源输入。

(6) M-LD3320 模块上的 CLK 输入可以选择直接将晶体振荡器信号通过排针输入到 LD3320 的相应引脚，或由用户自行焊接晶体振荡器，在模块上预留了晶体振荡器的空间和连接点。

(7) M-LD3320 模块上有两个 LED，连接到 LD3320 芯片的 29、30 引脚上。在 LD3320 上电重启复位并稳定工作后，29、30 引脚会稳定输出低电平，因此这两个 LED 可以作为芯片上电指示。

由于主控制单元采用的是5V电压供电，而M-LD3320模块只能是3.3V电压供电，所以需要接入一个总线电平转化器74LV4245A，用来给3.3V 器件和5V 器件提供接口。M-LD3320模块对外接口原理图如图5所示。其中各个对外接口与单片机的具体引脚的连接如表1所示。

3. 电机驱动模块

L293D是一款单片集成的高电压、高电流、4通道电机驱动模块，设计用于连接标准DTL或TTL逻辑电平，驱动电感负载（诸如继电线圈、DC和步进电机）和开关功率晶体管等。本文使用L293D驱动两个微型直流电机，其原理图如图6所示，其中各个对外接口与单片机的具体引脚的连接如表2所示。

4. 电源模块

电源采用可充动力锂电池，输出电压7.4V，电池容量1000mAh，放电倍率15c，其实物如图7所示。

由于M-LD3320模块需要3.3V电压供电，而其他模块则工作在5V电压，因此电源电压需要进行两级降压，先从7.4V降压到5V，再从5V降压到3.3V，原理如图8所示。

5. 车体组装

小车车身采用铝合金板组成，语音输入采用普通商业成品话筒，最后组装的实物如题图所示。

软件设计

软件采用状态机实现声音识别以及小车控制，软件运行状态分为5种，分别为空闲状态、正在识别、有识别结果、无识别结果、错误状态。各个状态机的切换以及总体流程如图9所示。

一次语音识别过程可以分为循环识别与触发识别两种。循环识别是指反复启动ASR语音识别过程。如果是每次接收到外界的触发，比如用户按键一次，只启动一次ASR语音识别过程，获得结果（或者识别没有结果）后，不再循环启动ASR识别过程，而是需要外界再提供一次触发，才再启动一次ASR语音识别过程，可以把这样的逻辑称为触发识别。本文的设计采用

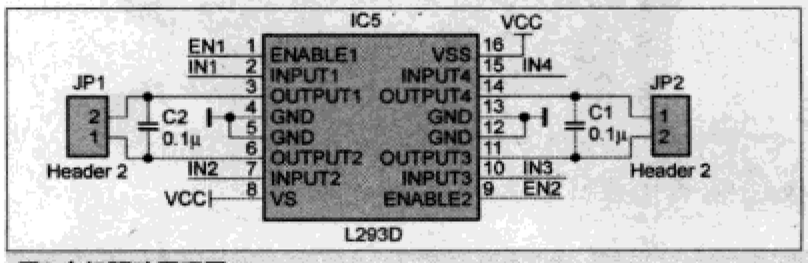


图6 电机驱动原理图

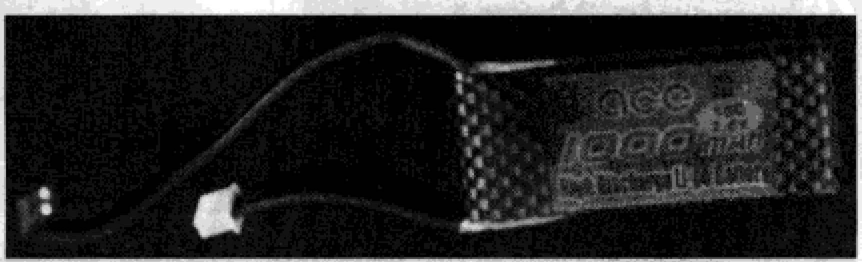


图7 电源

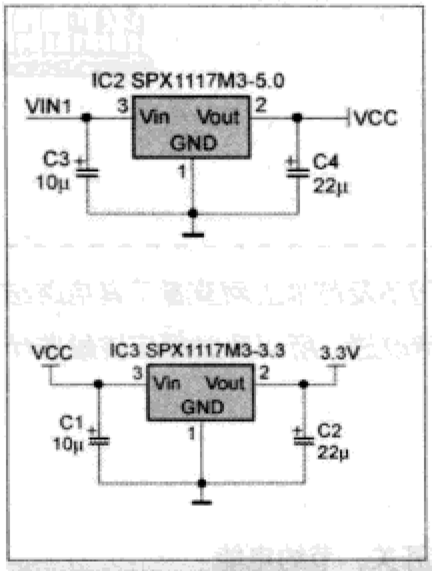


图8 电源模块原理图

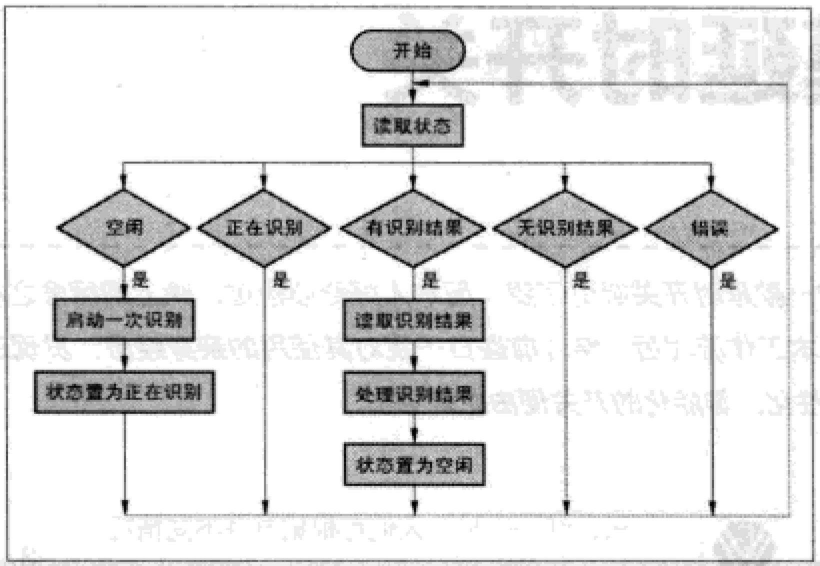


图9 软件总体流程图

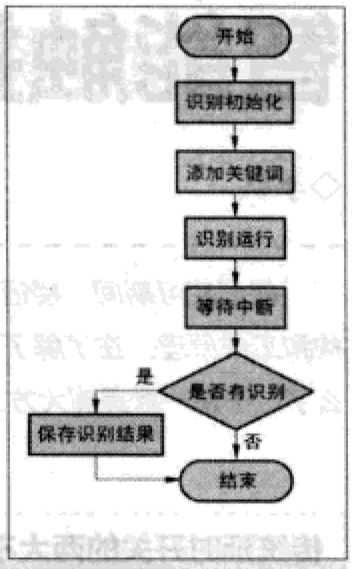


图10 识别流程图

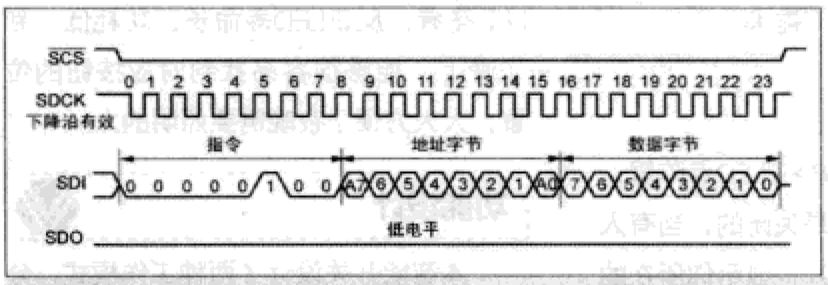


图11 写操作时序图

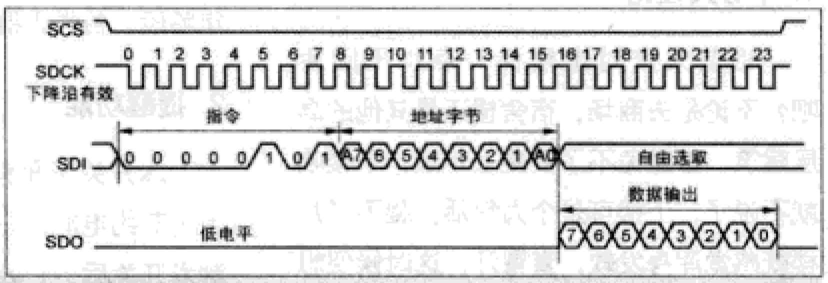


图12 读操作时序图

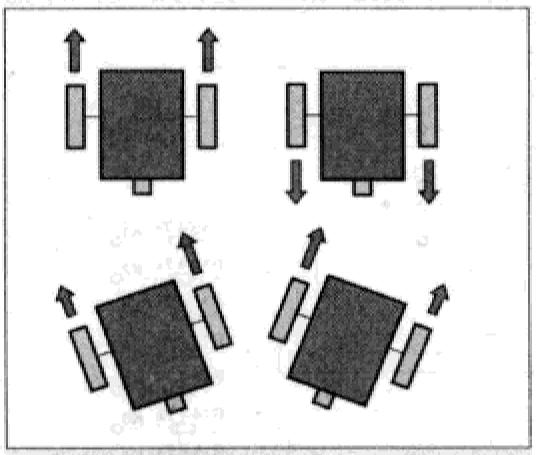


图13 小车方向控制原理图

的是比较容易实现的循环识别，其流程如图11所示。

对LD3320的操作主要是对片内寄存器的读写操作。该芯片支持并口及SPI两种接口方式，本设计采用软件模拟SPI实现读写时序，其时序图如图11和图12所示。

LD3320各个寄存器的含义可以参考其数据手册，程序在设置时基本可以参考其示例程序。为了提高识别的准确率，可以采用以下几个方法。

1. 增添“垃圾关键词语”

在设定好要识别的关键词语后，为了进一步降低误识别率，可以再添加一些其他的任意词汇进识别列表，用来吸收错误识别，从而达到降低误识别率的目的。可以把这些关键词语称之为“垃圾关键词语”。垃圾关键词语的选取，最好可以选择一些字数和关键词语一样的词语，用来吸收可能发生的错误识别。

2. 调节话筒增益及灵敏度

LD3320芯片的话筒增益寄存器（0x35）并不是设置得越大越好，一般建议范围在0x40 ~0x53之间。数值太高，会导致非常容易出现过激，识别率严重下降。参考程序给的是0x43。如果需要调高录音音量，建议调到0x4C。

寄存器0xB3可以理解为灵敏度，就是对周围声音的强度的反应灵敏度，默认值是0x12H。在需要增加灵敏度，扩大识别距离时，可调节到0x0FH或者0x0AH实现效果（最灵敏是0x1）。但是这个调整是双刃剑，对声音敏感了，必然会带来识别率上的负影响。所以对于声音的调整是非常需要平衡的，需要结合产品慢慢调整

小车采用恒定的PWM占空比来实现固定速度前进与转向。程序中使用ATmega16的16位定时器模拟实现两路8位PWM输出，来同时控制左右轮两个电机，实现原理如图13所示。

总结

使用LD3320模块设计的声音控制小车，具有反应灵敏、成本低廉的优点。不过也存在着一些缺点：

（1）环境声音对声音识别影响很大。当背景噪音比较大时，识别不是很准确，无法控制小车。

（2）只支持中文控制，英文只能使用汉字模拟发音实现。

（3）识别率不是很高，会有误识情况发生。

■ 相关程序可以到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn上下载。

智能触摸延时开关

◇李帆

暑假实习期间，楼道里的一款延时开关吸引了我。因本人好奇心极重，晚上回宿舍之后就迫不及待地上网查看了其电路结构和工作原理。在了解了其基本工作流程后，结合前些日子我对其使用的亲身经历，发现还有待改进，所以我觉得应该做些什么了，于是一款美观大方、人性化、智能化的开关便由此诞生了。

传统延时开关的两大不足

1. 不够人性化

相信大家对走楼梯一点也不陌生吧？不论是去商场、宿舍楼还是其他的高层建筑，都避免不了要爬上一段，下楼咱就不说了，上楼可是个力气活。爬不了几楼就感觉浑身发软，直冒汗，这时候便想休息一会儿再继续。正常人尚且如此，身体不便者和老人更甚。所以问题就产生了，传统延时开关只有一个选择，工作40~45s之后自动关闭，那么这对休息者、身体不便者和老人来说就很危险，因为他们必须要走一段黑暗的道路。

2. 不知身在何处

下面是发生在我身上的一件糗事：有一次晚上下班回宿舍，爬着爬着估摸着是到了我们楼层，一拐也没有看宿舍号就直接推门而入，下一刻我就愣在那了，一宿舍的人全都不认识，他们也同样用惊讶的眼神盯着我。那一次真是尴尬死了，原来我走到了6楼，而我们宿舍却是在5楼。所以，对传统触摸延时开关的改进就显得势在必行。

智能触摸延时开关的优点

1. 人性化设计

本智能开关实现3路触摸，可用于各种场合。绿、黄、红代表3种不同时段的延时，其分别为：绿——较短，黄——稍长，红——长。人们可根据自身不同情况自由选择。较传统的触发开关来说，该设计更加人性化，适用范围更广，符合各个年龄段、各类人群的不同需求。

2. 提醒功能

本开关正面有一个8×8LED点阵屏，为了节约电能，它平时是关闭的，当有人触发开关后，它就会打开，显示你所在的楼层。这对许多爬楼不知身在何处的人，就像大海中的灯塔一样，为你指明方向。

3. 定位开关，节约电能

开关不工作时，只有红、绿、黄3个LED亮着，反正LED寿命长、功耗低。到了晚上，能够很容易找到对应按钮的位置，大大方便了夜晚需要照明的人。

功能设计

本智能开关设计了两种工作模式，分别为静态模式和工作模式。静态模式下，红、绿、黄LED指示灯亮，点阵屏和节能

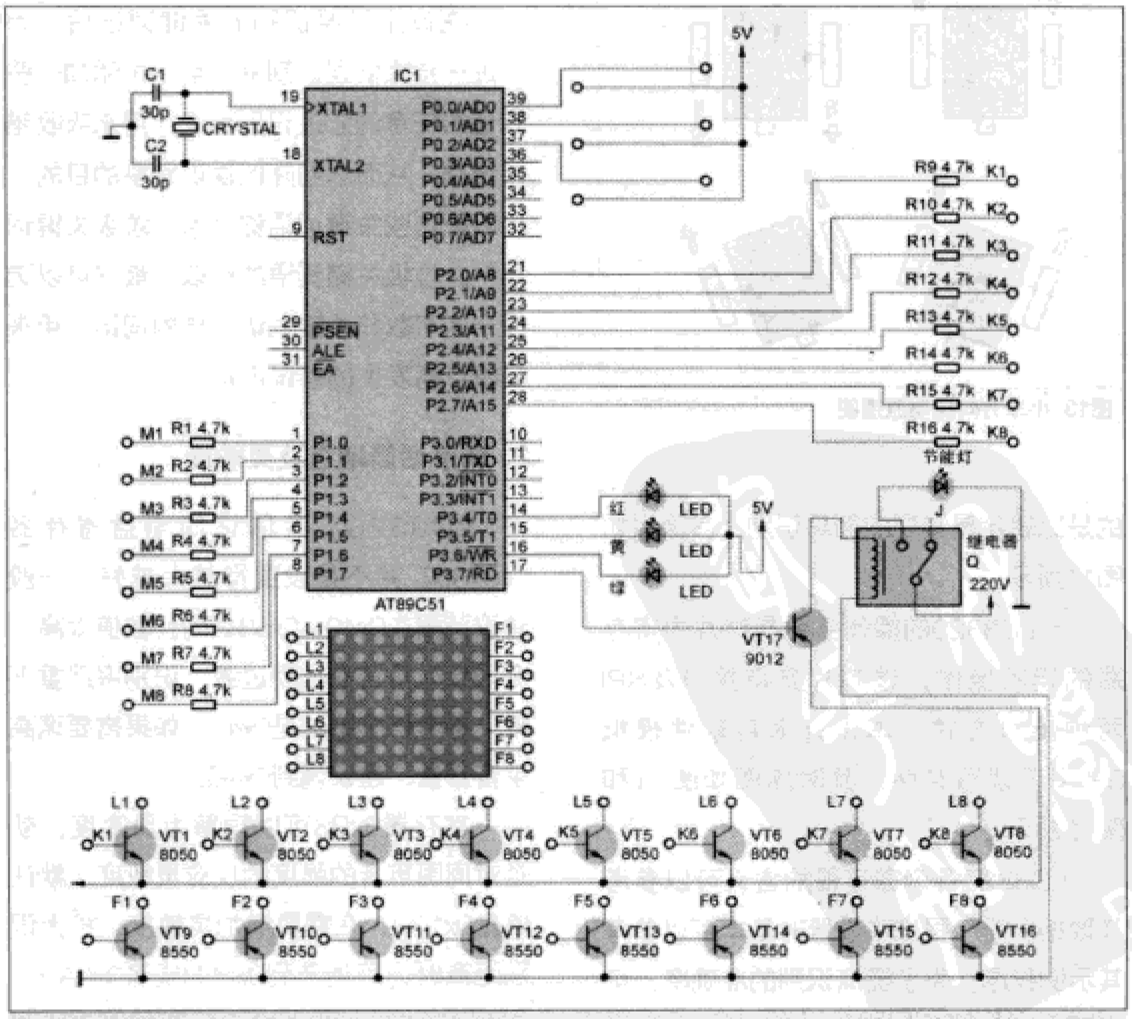


图1 电路原理图

灯都是熄灭状态，工作模式下，相应的LED指示灯熄灭，点阵屏和节能灯开启。

为了使用方便，本智能开关设计了3个触摸按键。

绿键：在静态模式（上电即进入静态模式）下，触摸此键即进入工作模式，绿色指示灯熄灭，节能灯和点阵屏开启，延时1分钟后转入静态模式。

黄键：在静态模式下，触摸此键则进入工作模式，黄色指示灯熄灭，节能灯和点阵屏开启，延时 2 分钟后转入静态模式。

红键：在静态模式下，触摸此键则进入工作模式，红色指示灯熄灭，节能灯和点阵屏开启，延时 4 分钟后转入静态模式。

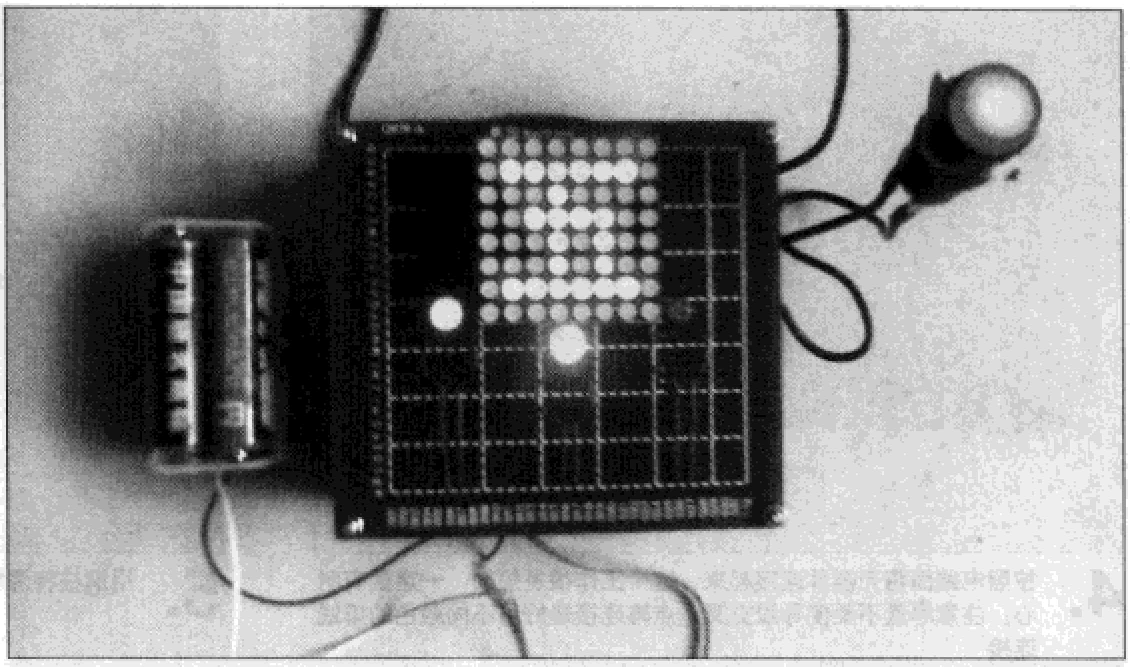
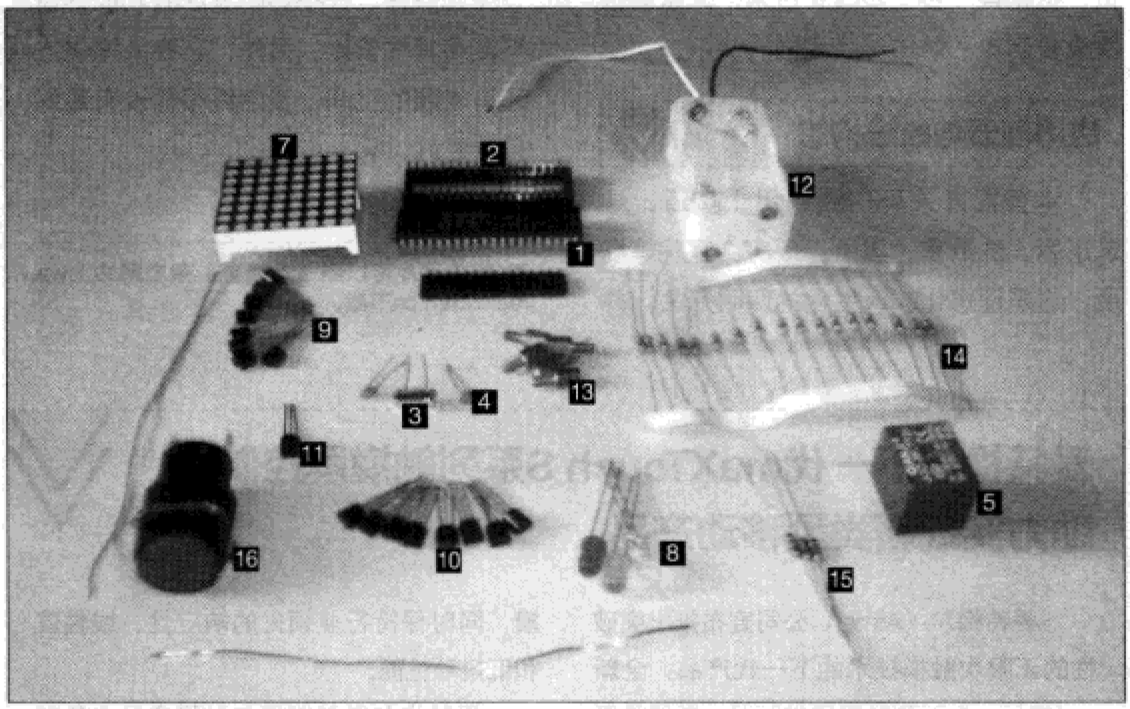


图2 实际效果图（LED下方为触摸式开关，节能灯以220V指示灯代替）

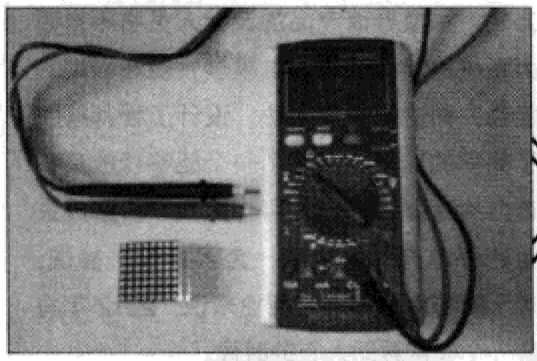
材料准备



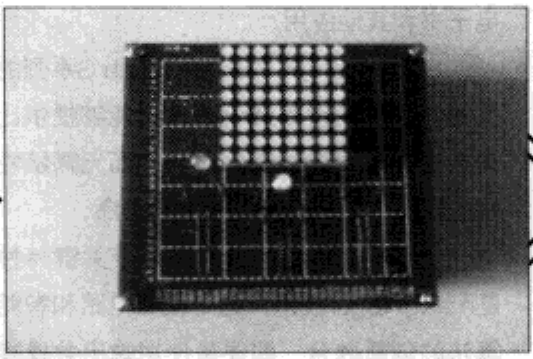
附表 元器件清单

序号	元器件名称	数量	参考价格（元）
1	STC89C52	1	8.00
2	40PIN芯片座	1	0.30
3	12MHz晶体振荡器	1	1.00
4	30pF电容	2	0.03
5	继电器	1	2.00
6	9×10cm万用板	2	4.00
7	8×8点阵屏	1	5.00
8	LED	3	0.20
9	8050三极管	8	0.20
10	8550三极管	8	0.20
11	9012三极管	1	0.20
12	电池盒	1	1.00
13	铜柱	8	0.50
14	4.7kΩ电阻	17	0.20
15	470Ω电阻	3	0.20
16	220V指示灯	1	1.00

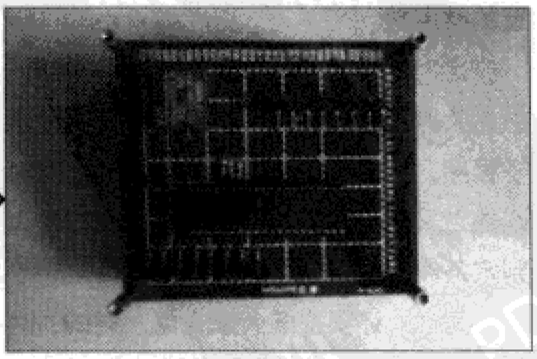
制作过程



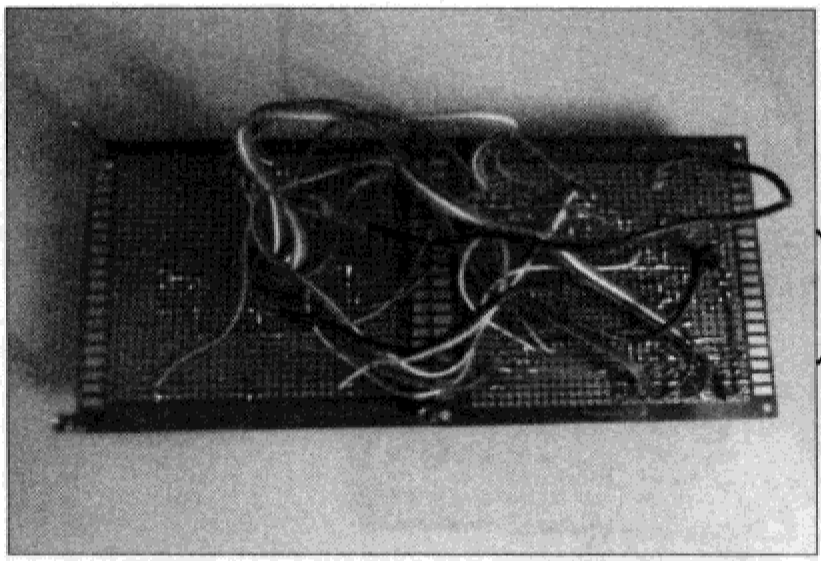
1. 测试点阵的行列引脚。因为点阵引脚排列不规则，所以我们需要先测其引脚，然后记录在纸上。注意，每一排引脚有行也有列，一定要耐心测试



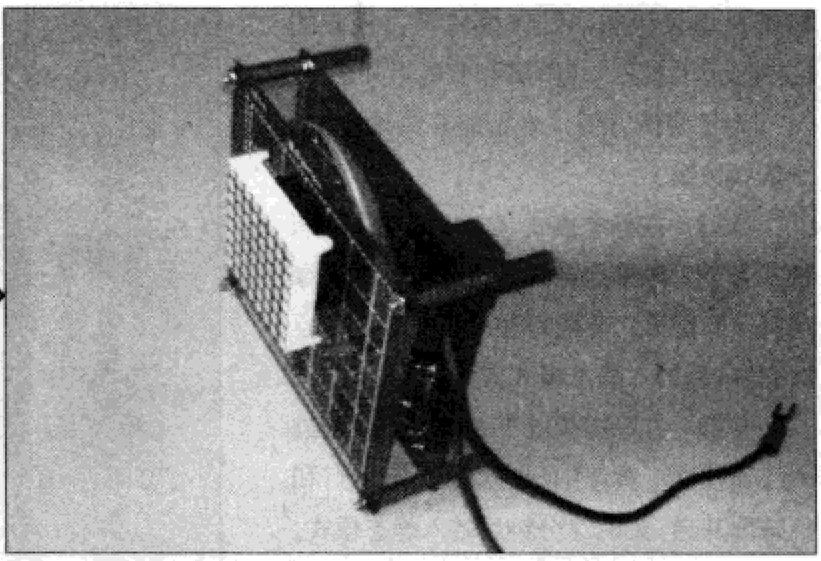
2. 将排孔、铜线、LED焊接在万用板上。固定好之后，将点阵屏插到排孔上。注意I/O接口线要平行排列，且上端要做成按钮式，既美观大方又容易触发



3. 将余下的电子元器件焊接在另外一块板上。注意，元器件布局要以连线不交插、美观大方作为两个基本点。还要注意，继电器要远离单片机，防止其干扰单片机电路



4. 按照电路图将元器件连接起来，这个工作很是烦琐，一定要有耐心。注意尽量不要使导线交叉，点阵连接最好用不同颜色的排线连接



5. 用铜柱将两块板子固定在一起。至此，开关的硬件已完成

软件设计

程序包括主程序、初始化程序、触摸键检测子程序、提醒显示子程序、定时器0溢出中断子程序。

初始化程序除了对继电器、3个LED指示灯、点阵屏进行设置外，还必须将P0置1设为高阻输入状态，这是实现触摸功能的前提。

触摸键检测子程序的任务是根据触摸键操作来执行相应的处理程序，例如，触摸了绿指示灯的触摸按键，接下来单片机要执行4个任务：（1）打开定时器中断，（2）打开继电器，开启节能灯，（3）熄灭绿指示灯，（4）调用提醒显示子程序。注意，触摸键检测子程序需检测单片机引脚高电平，跟普通按键正好相反，当然消抖延时也是必不可少的。

提醒显示子程序的任务是显示所在位置的楼层数。

定时器中断的任务是延时一段时间，然后关掉定时器中断、继电器及提醒显示子程序，打开对应指示灯。定时器延时时间的到来需用中断次数和标志位相与作为判定条件。

另外，还要提醒大家几点，调试的时候应该根据出现的现象分析程序哪一部分有问题，程序尽量条理清晰、模块化，以节省调试时间。切记不要使用交流电源，那样对触摸键的干扰会很大。编程部分难度不大，我相信，只要用心编写，耐心调试，把错误一步一步改正过来，大家会很快享受到电子制作带给我们的快乐。

应用前景与改进构想

本智能开关可广泛应用于楼道、建筑走廊、洗漱室、厕所、厂房、庭院等场所。这是理想化、人性化的照明开关，并可延长灯泡使用寿命。但它也有一些弊端，比如性价比不是很高，可以考虑替换一些元器件，在不影响其原有功能的情况下提高其性价比。另外，它在人性化方面还有发展的空间，我始终相信没有最好，只有更好。

■ 相关程序可以到《无线电》杂志网站上www.radio.com.cn下载。

爱特梅尔下一代maXTouch S系列触摸屏控制器助力实现新类型移动产品

爱特梅尔（Atmel）公司宣布推出突破性的无限次触摸技术的下一代产品：全新maXTouch S 系列触摸屏控制器。新器件系列最大可支持17英寸的触摸屏界面设计，可用于智能手机、平板电脑、数码相机、电子书和其他应用。

SlimSensor技术是maXTouch S系列的关键特性，使得系统设计人员能够提供比先前更薄、更轻的移动产品，而无需牺牲响应能力、触摸精确度或电池寿命。

maXTouch S系列的另一个关键特性是maXCharger技术，这是模拟电路和智能算法的创新融合，即便是使用输出共模噪声高达240V的电池充电器，仍然能够实现完美的触摸性能。该技术能够消除无意触摸，同时保持行业领先的响应性、线性度和低抖动性能。

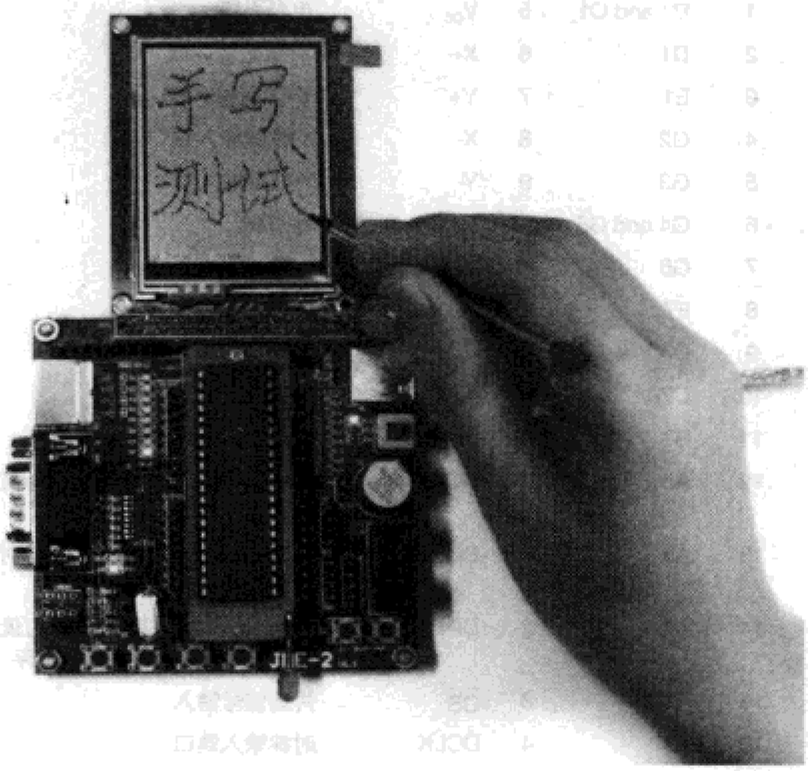
爱特梅尔微控制器与触摸产品业务部副总裁 Peter Jones 表示："maXTouch S 系列从根本上重新定义了实现触摸屏设计的方式。触摸界面产品的设计人员将不再因为系统噪声而需要在触摸屏性能和极端功能性方面进行折衷妥协。设计工程师摆脱了先前的约束，拥有了一个能够释放其创造力的高技术平台，可将触摸界面集成进新的移动产品类别中，为客户带来愉悦。对于爱特梅尔和整个行业来说，2012 年将是一个非常激动人心的时候。"

爱特梅尔已经开始向主要客户提供maXTouch S系列器件样品。

单片机开发实例及程序研究

◇周兴华

51单片机驱动触摸彩屏的设计



大家知道，现在对触摸屏的感应读取主要有电容式感应与电阻式感应两种方式。电容式感应屏（简称电容屏）的灵敏度高、手感好，但价格也比较高；电阻式感应屏（简称电阻屏）的灵敏度及手感稍差一些，但价格便宜，使用也很可靠。我们的实验使用的就是电阻屏。

低电压输入/输出触摸屏控制器ADS7846简介

ADS7846是一款4线式阻性触摸屏控制电路，工作电压为2.2~5.25V，支持1.5~5.25V低压 I/O 接口。它通过标准SPI协议和CPU通信，操作简单，精度高。

ADS7846内部包含了一个2.5V的基准电路，该基准电路可以应用在备选输入测量、电池监测和温度测量功能中。在掉电模式下，基准电路关闭，以降低功耗。当在 0~6V的范围内监测电池电压时，如果电源供电低于 2.7V，内部基准电路仍可工作。电源电压在2.7V 时，功耗的典型值为 0.75mW（关闭内部基准电路），转换速率为125kHz。

ADS7846是电池供电系统，为PDA、触摸屏手机和其他便携式设备的理想选择。图1为ADS7846内部结构组成框图。ADS7846 有TSSOP16、QFN16 和 VFBGA48 等封装形式，可在-40~+85℃温度范围内工作，图2为其引脚封装，表1为引脚功能描述。

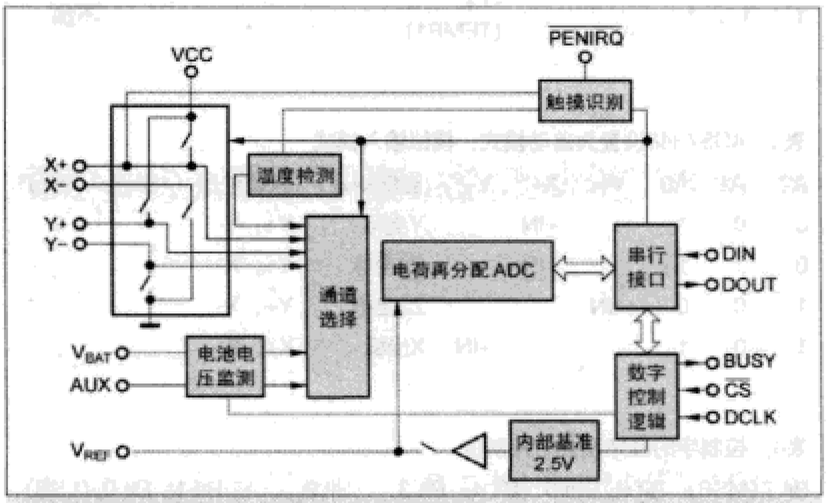


图1 ADS7846内部结构组成框图

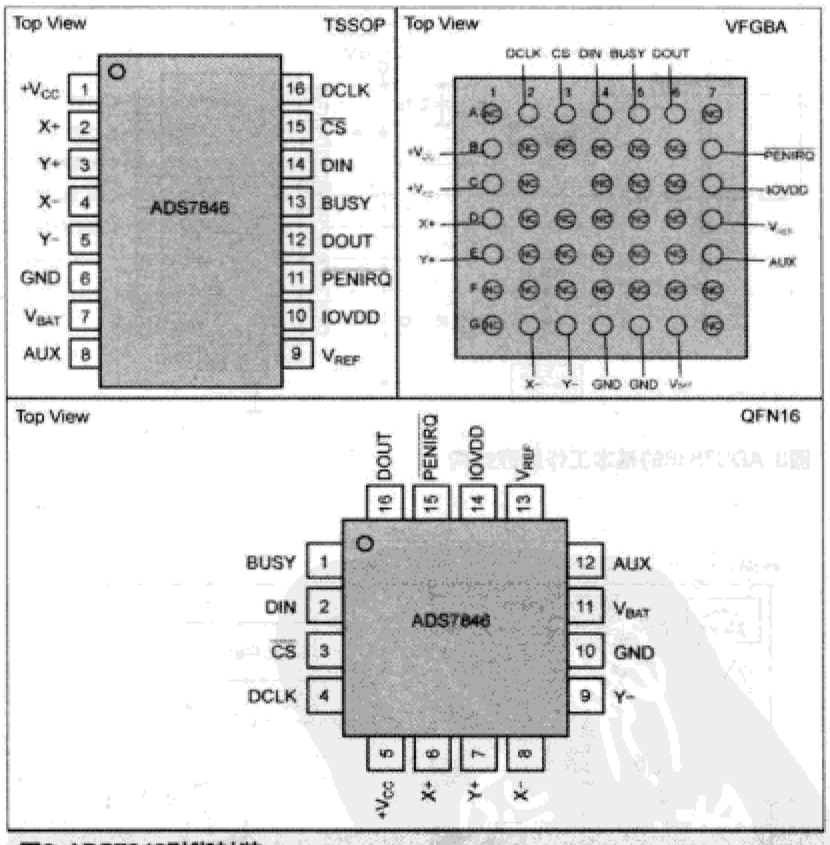


图2 ADS7846引脚封装

表1 ADS7846引脚功能描述

TSSOP PIN	VFBGA PIN	QFN PIN	引脚名	功能描述
1	B1 and C1	5	V_{CC}	电源引脚
2	D1	6	X+	X+位置输入端
3	E1	7	Y+	Y+位置输入端
4	G2	8	X-	X-位置输入端
5	G3	9	Y-	Y-位置输入端
6	G4 and G5	10	GND	地引脚
7	G6	11	V_{BAT}	电源检测输入端
8	E7	12	AUX	备选输入端
9	D7	13	V_{REF}	基准电压输入/输出
10	C7	14	IOVDD	数字I/O端口供电电源
11	B7	15	$\overline{PENIRQ}$	笔中断
12	A6	16	DOUT	串行数据输出端，当$\overline{CS}$为高时为高阻状态
13	A5	1	BUSY	忙时信号输出，当$\overline{CS}$为高时为高阻状态
14	A4	2	DIN	串行数据输入端，当$\overline{CS}$为低时，数据在DCLK上升沿锁存
15	A3	3	$\overline{CS}$	片选信号输入
16	A2	4	DCLK	时钟输入端口

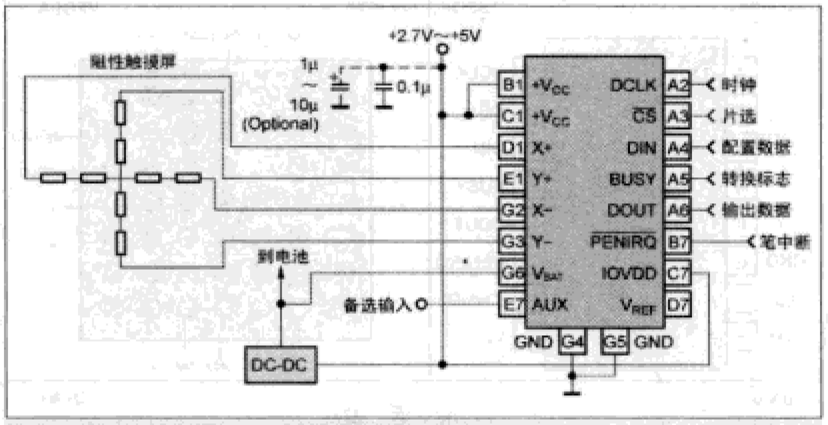


图3 ADS7846的基本工作原理结构

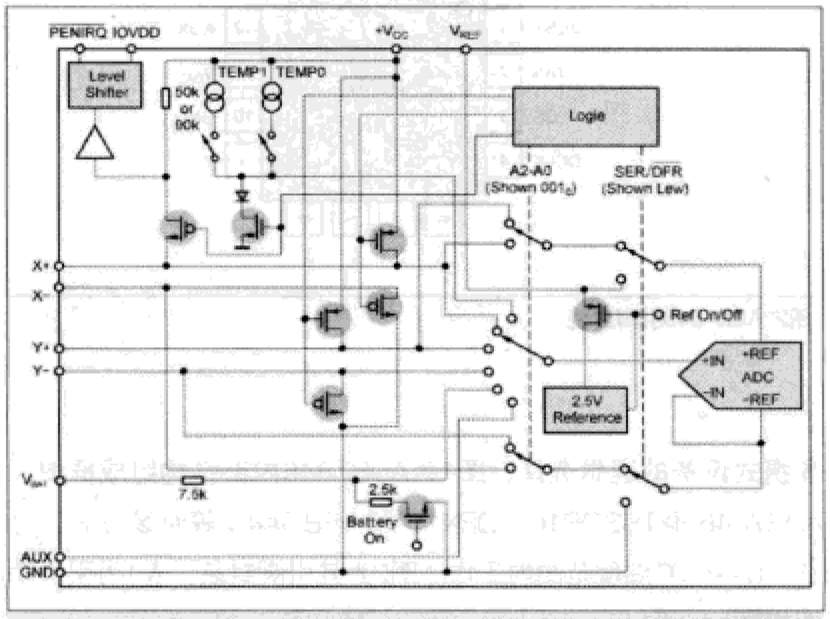


图4 ADS7846模拟输入通道选择、差分输入ADC、差分输入基准的示意图

ADS7846工作原理

ADS7846是一个典型的逐次逼近型AD转换器，其结构是基于电荷再分配的比例电容阵列结构，这种结构本身具有采样保持功能，其转换器是采用0.5μm CMOS工艺制造的。

ADS7846的基本工作原理结构如图3所示。ADS7846工作时需要外部时钟来提供转换时钟和串口时钟，内部基准2.5V可以被外部的低阻抗电压源驱动，基准电压范围为1V ~+V_{CC}，基准电压值决定了AD转换器的输入范围。

模拟输入（*X*坐标、*Y*坐标、*Z*坐标、备选输入、电池电压和芯片温度）通过一个通道选择，作为输入信号提供给转换器。内部的低阻驱动开关使得ADS7846可以为如电阻式触摸屏的外部器件提供驱动电压。

图4为ADS7846模拟输入通道选择、差分输入ADC、差分输入基准的示意图。表2设置为单端模式、模拟输入模式，表3设置为差动模式、模拟输入模式。通过数字串行接口输入引脚 DIN控制，当比较器进入采样和保持模式时，+IN 与-IN 间的电压差值将被存储在内部的电容阵列上，模拟输入电流取决于转换器的转换率，当内部电容阵列（25pF）被完全充电后，将不再有模拟输入电流。

通过采用差动输入和差动基准电压的模式，ADS7846可以消除由于触摸屏驱动开关的导通电阻带来的误差。

表2 ADS7846设置为单端模式、模拟输入模式

A2	A1	A0	电池检测	备选输入	温度测量	Y-	X+	Y+	坐标测量	驱动电压
0	0	0			+IN (TEMP0)					不加
0	0	1					+IN		Y坐标	Y+，Y-
0	1	0	+IN							不加
0	1	1					+IN		Z1坐标	Y+，X-
1	0	0				+IN			Z2坐标	Y+，X-
1	0	1						+IN	X坐标	X+，X-
1	1	0		+IN						不加
1	1	1			+IN (TEMP1)					不加

表3 ADS7846设置为差动模式、模拟输入模式

A2	A1	A0	Y-	X+	Y+	坐标测量	驱动电压（+REF，-REF）
0	0	1		+IN		Y坐标	Y+，Y-
0	1	1		+IN		Z1坐标	Y+，X-
1	0	0	+IN			Z2坐标	Y+，X-
1	0	1			+IN	X坐标	X+，X-

表4 控制字的顺序及各个控制位

Bit 7(MSB)	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0（LSB）
S	A2	A1	A0	MODE	SER/$\overline{DFR}$	PD1	PD0

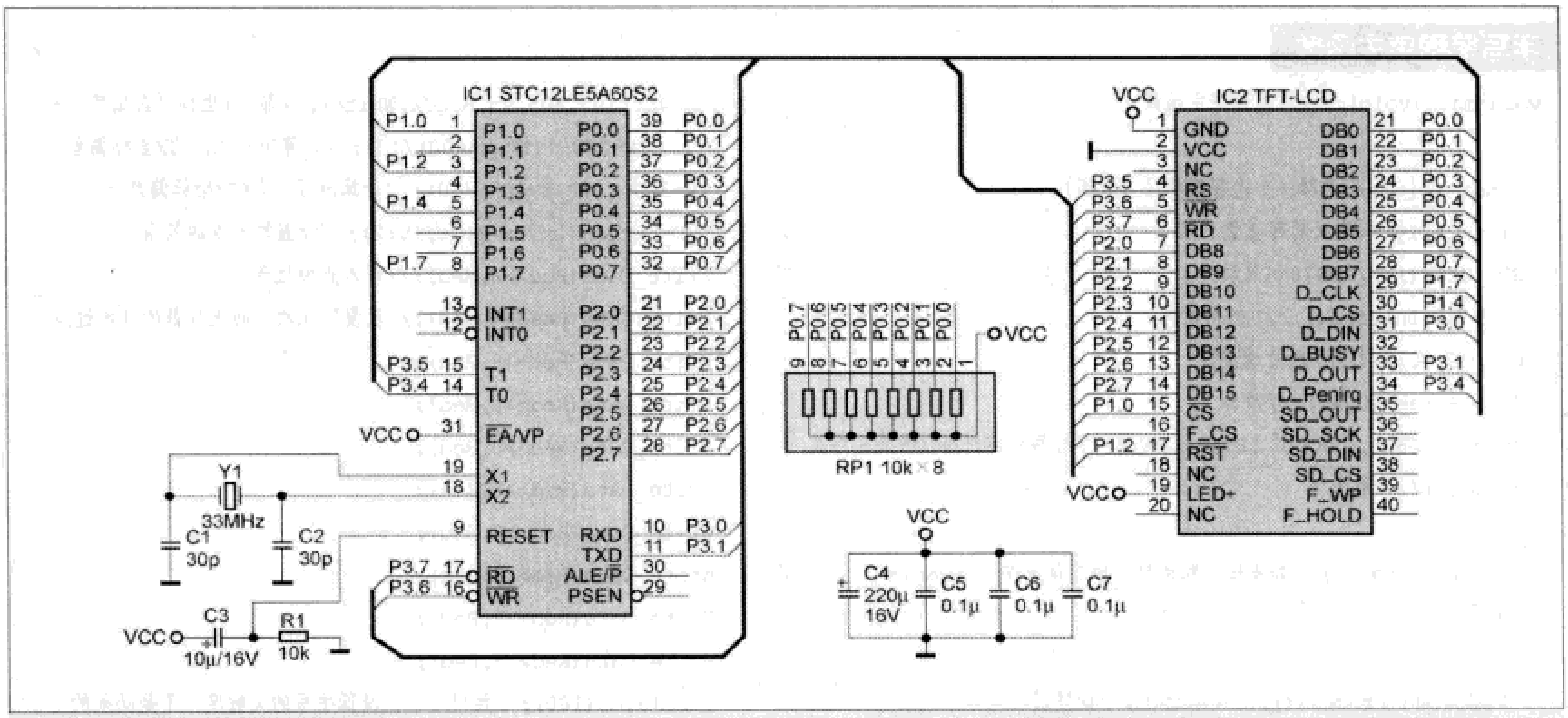


图5 51单片机与触摸屏的连接电路图

表5 控制字的功能

控制位	作用描述
S	起始位：控制字的最高位，必须为高，表明控制字的开始。ADS7846如果没有检测到起始位，将忽略DIN上的信号
A2~A0	模拟输入通道选择位：同SER/$\overline{\text{DFR}}$一起，设定ADS7846的测量模式、驱动开关和基准输入（见表1、表2）
MODE	转换精度选择位：用来设定AD转换器的分辨率，此位为低，数模转换将有 12 位的分辨率；此位为高，数模转换则有8位的分辨率
SER/$\overline{\text{DFR}}$	参考电压模式选择位：用来设定参考电压模式为单端模式或者差动模式。差动模式也称为比例转换模式，用于X 坐标、Y 坐标和触摸压力的测量，可以达到最佳的性能。在差动模式下，参考电压来自于驱动开关，其大小与触摸屏上的驱动电压相差无几。在单端模式下，参考电压为V_{REF}与地之间的电压。如果X 坐标、Y 坐标和触摸压力的测量采用单端模式，则必须使用外部基准电压，同时ADS7846 的电源电压也由外部基准电压提供。在单端模式下，必须保证AD转换器的输入信号的电压不能超过内部基准电压2.5V，特别是电源电压高于 2.7V时
PD1~PD0	省电模式选择：AD转换器和内部基准电路可以通过这两位来设定为工作或者停止，因此可以降低ADS7846 的功耗，还可以让内部基准电压在转换前稳定到最终的电压值（见表6）。如果内部基准电路被关闭，要保证有足够的启动时间来启动内部基准电路。AD转换器不需要启动时间，可以瞬间启动。此外，随着 BUSY置为高，内部基准电路的工作模式将被锁存，需要对ADS7846写额外的控制位来关闭内部基准电路

表6 省电模式和内部基准选择

PD1	PD0	接触中断功能	功能描述
0	0	启用	转换完成后进入省电模式，下一次转换开始后，所有的器件将被上电，不需要额外的延迟来保证操作的正确性，第一次转换结果也是有效的。省电模式时，Y-驱动开关将导通
0	1	禁用	启用ADC，关闭基准电路
1	0	启用	关闭ADC，启用基准电路
1	1	禁用	ADC和基准电路都启用

ADS7846的控制字

从DIN引脚串行输入的控制字的各位的作用如表4、表5所示，控制字用来设定ADS7846的转换开始位、模拟输入选择、ADC 分辨率、参考电压模式和省电模式。

ADS7846的坐标读取子函数

```
void ADS7843_Process(void)//ADS7846的坐标读取子函数，可以使用查询或中断处理
{
 CS=0;//选中AD7846
 //delayms(1);//如果使用中断处理，则延时以消除抖动，使得采样数据更准确
 //while(BUSY);// ADS7846忙时等待，如果BUSY信号不好使，可以删除不用
 //delayms(1);//延时1ms，不是必须的
 Write_ADS7843(0x90);//送控制字10010000，即用差分方式读Y坐标
 //while(BUSY);// ADS7846忙时等待，如果BUSY信号不好使，可以删除不用
 //delayms(1);//延时1ms，不是必须的
 DCLK=1; _nop_();_nop_();_nop_();_nop_();//时钟高电平
 DCLK=0; _nop_();_nop_();_nop_();_nop_();//时钟低电平
 TP_Y=Read_ADS7843();//读取触碰的Y坐标到全局变量TP_Y中
 Write_ADS7843(0xD0);//送控制字 11010000，即用差分方式读X坐标
 DCLK=1; _nop_();_nop_();_nop_();_nop_();//时钟高电平
 DCLK=0; _nop_();_nop_();_nop_();_nop_();//时钟低电平
 TP_X=Read_ADS7843();//读取触碰的X坐标到全局变量TP_X中
 CS=1;//禁止AD7846
}
```

手写笔程序主函数

```
void main(void)//手写笔程序主函数
{
 uchar ss[6];//开辟一个内存缓冲区（数组）
 uint lx,ly;//定义局部变量
 SPI_Star();//ADS7846启动
 ILI9325_Initial();//TFT初始化
 LCD_CS =0;//打开TFT片选使能
 ColorScreen(Cyan);//清屏
 ShowStr(68,5,"GOOD",Black,White);//显示字符串（白底黑字）
 while(1)//无限循环
 {
  if (Penirq==0)//如果按下触摸屏，触摸屏有响应（Penirq脚为低电平）
  {
   ADS7843_Process();//读取此时按下触摸屏的坐标
   Conv(TP_X,ss);//将X坐标信号分解存入数组
   ShowStr(10,305,"X:",Black,White);//显示字符串X:（白底黑字）
   ShowStr(25,305,ss,Black,White);//显示X坐标（白底黑字）
   Conv(TP_Y,ss);//将y坐标信号分解存入数组
   ShowStr(80,305,"Y:",Black,White);//显示字符串Y:（白底黑字）
   ShowStr(95,305,ss,Black,White);//显示Y坐标（白底黑字）
       lx=240-((TP_X-400)/13);//计算出写入点的X坐标偏差
   ly=320-((TP_Y-400)/10);//计算出写入点的Y坐标偏差
   LCD_SetPos(lx,lx+2,ly,ly+2);//设置写入点的范围
   Write_Data(Red>>8,Red);//写入点为红色
   Write_Data(Red>>8,Red);//反复写几次，防止屏幕的颜色过浅
   Write_Data(Red>>8,Red);
   Write_Data(Red>>8,Red);
   Write_Data(Red>>8,Red);
   Write_Data(Red>>8,Red);
   Write_Data(Red>>8,Red);
   Write_Data(Red>>8,Red);
   Write_Data(Red>>8,Red);
   Write_Data(Red>>8,Red);
   //delayms(100);//延时一下，降低手写的灵敏度，不是必须的
   }
   else//否则没有按下触摸屏，单片机无响应
   {
   ;
  }
 }
}
```

笔中断接触输出

在PD0=0的掉电模式下，如果触摸屏被触摸，PENIRQ将变为低电平，对CPU将意味着一个中断信号的产生。此外，在*X*坐标、*Y*坐标和*Z*坐标的测量过程中，PENIRQ输出将被禁止，一直为低。如果 ADS7846的控制位中PD0=1，PENIRQ输出功能将被禁止，触摸屏的接触将不会被探测到。为了重新启用接触探测功能，需要重新写控制位 PD0=0。

在CPU给ADS7846发送控制位时，建议CPU屏蔽掉PENIRQ的中断功能，这是为了防止引起误操作。

当触摸屏被按下（即有触摸事件发生）时，则 ADS7846 向CPU 发中断请求，CPU 接到请求后，应延时一下再响应其请求，目的是为了消除抖动，使得采样更准确。如果一次采样不准确，可以尝试多次采样，取最后一次结果为准，目的也是为了消除抖动。

51单片机与触摸屏的连接电路图如图5所示。

51单片机驱动触摸屏的软件设计

与其他液晶模块的驱动设计相仿，为了实现对触摸屏的高效控制，首先必须按照模块设计方式，建立起相关的子程序。

对电阻式触摸屏TFT的驱动首先要进行初始化，然后读出触摸点的坐标，并对彩屏进行有关的写操作，使其显示出我们需要的内容。

这里笔者提供一个测试程序（test_touch_1），由于篇幅较大，读者如有需要可到《无线电》杂志的网站www.radio.com.cn上下载，也可访问作者的网站www.zxhmcu.com，交流更多单片机的设计使用心得。

该测试程序测试了手写笔的字迹，如题图所示。

完整程序的篇幅很大，我们只简单介绍一下ADS7846的坐标读取子函数及手写笔程序的主函数。

■ 相关程序请到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn上下载

实战I²C

◇席卫平

笔者在多年的电子技术科普活动中发现，很多业余电子爱好者一开始并没有打算成为一个专业电子工程师或是熟练的软件程序员，他们的愿望就是探索电子技术的奥妙，并运用自己的智慧，通过DIY去实现哪怕是疯狂的想法，他们享受的是过程和成功的喜悦。但是现代电子信息技术的发展与往日有了很大的不同，在分立元件或是逻辑电路时代，一块万用表再加示波器能搞定大部分问题，现在则是所谓的嵌入式时代。其实，追根溯源地看，嵌入式就是单片机技术的高端应用、商业化应用，通俗地解释就是“单片机+软件”的一体化产物。问题是说说容易，实现起来你需要同时掌握两项技术，即单片机的工作原理和软件编程技术。而当你打算从跑马灯、点亮数码管等入门实验进入一个真正实用的小系统时，你会发现前面还有各种外围器件的特性以及从未接触过的各式各样的通信协议。这意味着摆在你面前的一堆Data sheet，也就是说明书或器件手册。这似乎偏离了业余爱好，成了专业培训了，而你最初的动机——兴趣，也就慢慢地被磨灭了。

针对这些朋友，笔者开发了一款简化的C语言平台（IDE），我将其命名为ROBOT C，结合我设计的ATmega48系列单片机硬件平台，推开挡在你面前的这一堆Data sheet，让你通过一些成功的实验案例去掌握单片机的应用、器件特性、通信协议和基本软件编程技巧，并能应用到你的创作中。读者所要做的就是先不要问太多的为什么，而是照着做、模仿。积累的实验案例多了，你可以加以重新组合，构成你自己的创作，这个过程会不断加深你的兴趣，此时你再去读那些说明书，乃至教科书就要容易得多了。笔者设计的这些实验案例并不“歧视”其他软件，有兴趣的读者或是有一定水平的读者可以运用任何工程语言编写程序，只要最终编译成标准的hex文件下载即可。但是相比起来，我的简化ROBOT C语言总体上要简单和短小得多。

另外，我不打算像大多数说明书那样按部就班地介绍，那样的话同样会令人感到枯燥。我想通过一系列既有针对性又实用的实验，在“玩”的过程中去熟悉整个系统，重点放在一些较难掌握的通信协议和关键技术点。

此次我将向大家介绍一个关于I²C总线的实验。通过这个实验你不但能够了解I²C总线协议，学会如何应用此协议完成对AT24CXX系列存储器芯片的读/写操作。在软件方面，你会学到基本的编程思路和模式。

I²C总线简介

接触过单片机的朋友都听说过I²C这个名词，但真正实践过的可能就不多了，因为隐藏在这个词汇背后的原理确实复杂了一些。

I²C的全称是“Inter Integrated Circuit bus”，是一种串行通信总线，使用多主从架构，由飞利浦公司于20世纪80年代为了让主板、嵌入式系统或手机用以连接低速周边装置而发展。I²C也可以写成“IIC”或是“I2C”，更通俗易懂的说法是“2线串行数据总线”。其硬件结构非常简单，如图1所示。

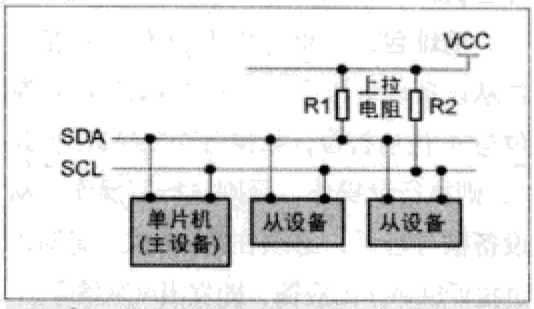


图1 I²C总线的硬件结构

从图1可以看出，I²C 总线在电气层面就是两根线，一根称为SDA，是数据线，一根称为SCL，是时钟线。系统设计者可以通过这两根双向总线，连接128个设备，唯一的外部器件是每根总线上的上拉电阻。

协议约定：所有连接总线的设备都有各自的设备地址，在某一时刻，总线上只能有一个主设备，主设备负责启动与终止数据的传输，同时还产生SCL时钟，同一时刻，可以有一至多个从设备，从设备就是被主设备寻址并传送数据的设备。在一个典型系统中，单片机往往担当主设备的角色，而从设备则是传感器、存储器等。总线通过上拉电阻与电源正极相联。所有器件的总线驱动都是漏极开路或集电极开路的。这样就实现了对接口操作非常关键的线与功能。当某个器件输出为“0”时， 总线会产生低电平。当所有的器件输出为三态时，总线会输出高电平，允许上拉电阻将电压拉高。需要注意的是，为保证所有的总线操作，凡是与总线连接的器件必须上电。

你可能会提问，这样简单的两根导线，如何实现数据的传输和同步呢？其实在信息层面，I²C协议也设计得非常巧妙。该协议利用脉冲波形的上升沿和下降沿作为数据传输的启、停标志，解决了数据帧的同步问题，并约定了总线上传输的地址包和数据包的格式，解决了寻址和数据识别的问题。让我们首先熟悉一下I²C

总线的几个最基本概念。

启动状态：在SCL为高，主机使SDA发生从高到低的变化时，这个下降沿就是启动状态。

停止状态：在SCL为高，主机使SDA发生从低到高的变化时，这个上升沿就是停止状态，如图2所示。

地址包：地址包均为 9 位，包括 7 位从设备地址位、1 位READ/WRITE控制位与 1 位应答位。如果READ/WRITE位为 1，则执行读操作，否则执行写操作。从设备被寻址后，必须在第9个SCL周期通过拉低SDA作出应答，即发出ACK信号。

以实验中的AT24C02芯片为例，它的地址用二进制表示是1010000X，X可以是 0 或 1。用十六进制表示，就是0xA0对AT24C02进行写操作，而0xA1就是读操作。

数据包：数据包为9 位长，包括8位数据位及1位应答位。发送时（主机写），从设备接收完成后，在第9个SCL周期拉低SDA位，发出ACK应答。接收时（主机读），主机在没有读完数据时，每接收一次数据，在第9位发一个ACK，直至最后一个数据，主机使SDA为高，发出NACK信号。

写时序：写的时候，主设备按如下顺序发送地址和数据。

★ 启动状态。

★ 从设备地址，地址的前7位为从设备地址数据，最后一位为0，表示写操作。

★ 从设备字节地址。

★ 写入从设备的数据字节。

★ 终止状态。

读时序：读的时候，主设备按如下顺序发送地址和数据。

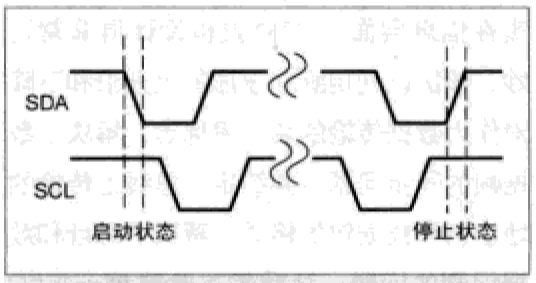


图2 I²C总线的启动、停止状态

★ 启动状态。

★ 从设备地址，地址的前7位为从设备地址数据，最后一位为0，表示写操作。

★ 从设备字节地址。

★ 重发启动状态。

★ 重发从设备地址，此次最后一位为1，表示读操作。

★ 读从设备数据。如果不是最后一个字节就发送ACK，表示继续接收；如为是最后一次接收，则发NACK，表示结束接收。

★ 终止状态。

记住以上名词概念和时序，你就基本掌握了I²C协议的规则，为阅读本文提供的源程序打下基础。

初识ROBOT C 开发平台

打开 ROBOT C应用程序，其启动界面如图3所示。“文本编辑界面”就是一个普通Windows文字编辑界面。主菜单中的“文件”、“编辑”、“窗口”和“帮助”等项与Windows操作系统中的文本编辑功能基本相同，会用电脑的人都已很熟悉，这里无须赘述。ROBOT C独有功能的是“单片机”、“查看”和“设置”等项，后面将逐一详细介绍。

“主工具条”主要是“文件”和“编辑”菜单的图形化快捷按键，当用户将光标移动到某个按键上方时，光标右下方会有该按键的功能提示，“状态条”里也会出现帮助提示信息。

“信息窗口”提供编译过程中的状态信息、报错信息，以及系统函数的使用帮助提示信息等。

“单片机功能选择工具条”是为方便使用者在程序中调用AVR ATmega 48系列单片机的各种专用功能而设计。笔者将许多对于初学者来说比较复杂、难懂的单片机初始化功能设置语句封装成一个一个的函数（子程序），使用者在编写程序的过程中，如果需要使用单片机的某个功能，

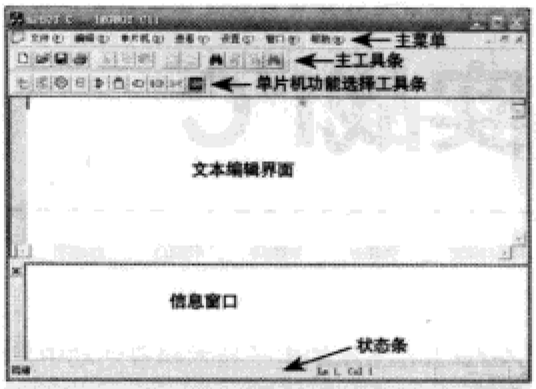


图3 ROBOT C应用程序的界面

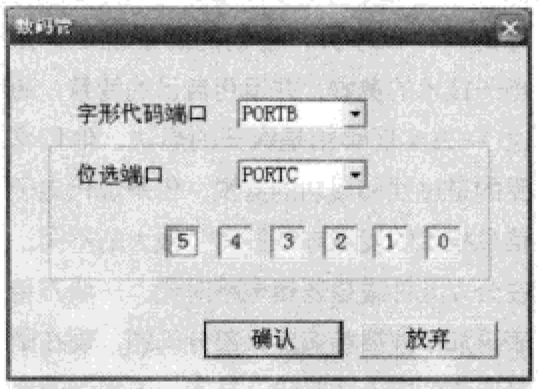


图4 单片机初始化功能设置语句被封装成易用的函数

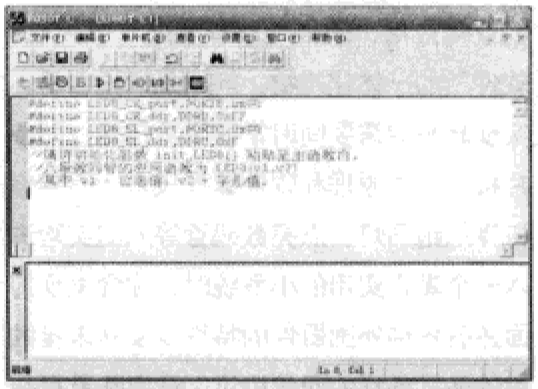


图5 点击“确认”键后，相应的端口定义语句和说明语句会自动插入文本编辑界面

例如8段数码管，只要点按相应按键就会弹出一个对话框，让使用者选择驱动该功能的单片机端口和引脚，如图4所示。点击“确认”键后，相应的端口定义语句和说明语句会自动插入文本编辑界面，如图5所示。

硬件搭建

本实验是基于AVR 的ATmega 48/88/168/328系列单片机的，以笔者开发的AVR 最小系统（见本刊2012年第1期《玩转16×16LED点阵屏》一文）作为主设备，从设备为一个AT24C02芯片。该实验的电路如图6所示。

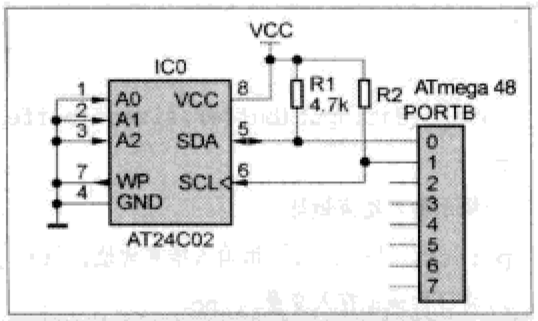


图6 I²C总线实验电路图

整个实验在面包板上搭出，所需元件为AT24C02芯片1只、4.7kΩ电阻2只。读者参照电路图用跳线很容易搭出。需要说明的是，除了两头插针的跳线外，还需要4根一头插针，一头为杜邦插头的跳线，用于连接主设备上的+5V、GND、和SDA、SCL信号引脚，如图7所示。

软件设计

当代单片机产品得益于大规模集成电路的发展，大多都在芯片上内置有I²C 协议功能，用户主要是对专用寄存器进行设置，然后单片机会自动在固定（设计指定）引脚上发送或接收I²C协议信号。这样的设计对专业技术人员来讲，无疑大大方便了软件编程。以ATmega 48系列单片机为例，其上内置了TWI（2-Wire Serial Interface，实际就是I²C）功能，并指定引脚PC.4和PC.5分别为SDA和SCL接口。问题是这些寄存器的设置与掌控是建立在深厚的专业知识基础上的，这对业余电子爱好者而言就过于苛刻了。另一方面，由于单片机产品的设计将协议的接口固定在几个引脚上，这也限定了设计者的灵活性。

本文将向读者介绍一种在ATmega 48系列单片机上用软件模拟实现I²C协议的方法。特点是可以使用ATmega 48系列单片机上任意两个空闲引脚，用软件（汇编语言）指令控制这两个引脚按照I²C协议的时序产生高、低电平变化实现通信。而且，笔者借助ROBOT C平台将这些底层汇编程序集成为几条简单的C语言函数语句，读者只要按I²C协议的读/写顺序调用这些函数即可实现对I²C芯片，像AT24CXX等的读/写操作，而无须深入研究其背后的理论。

该实验程序的流程图如图8所示。程序一开始，首先询问用户要进行什么操作。如果用户回答“r”（读），系统会接着询问起始地址和终止地址。回答完毕后，系统将这个地址区间的内容输出到电脑屏幕上。如果用户回答“w”（写），系统在询问完起始和终止地址后，还将逐个让用户输入每个地址的内容。

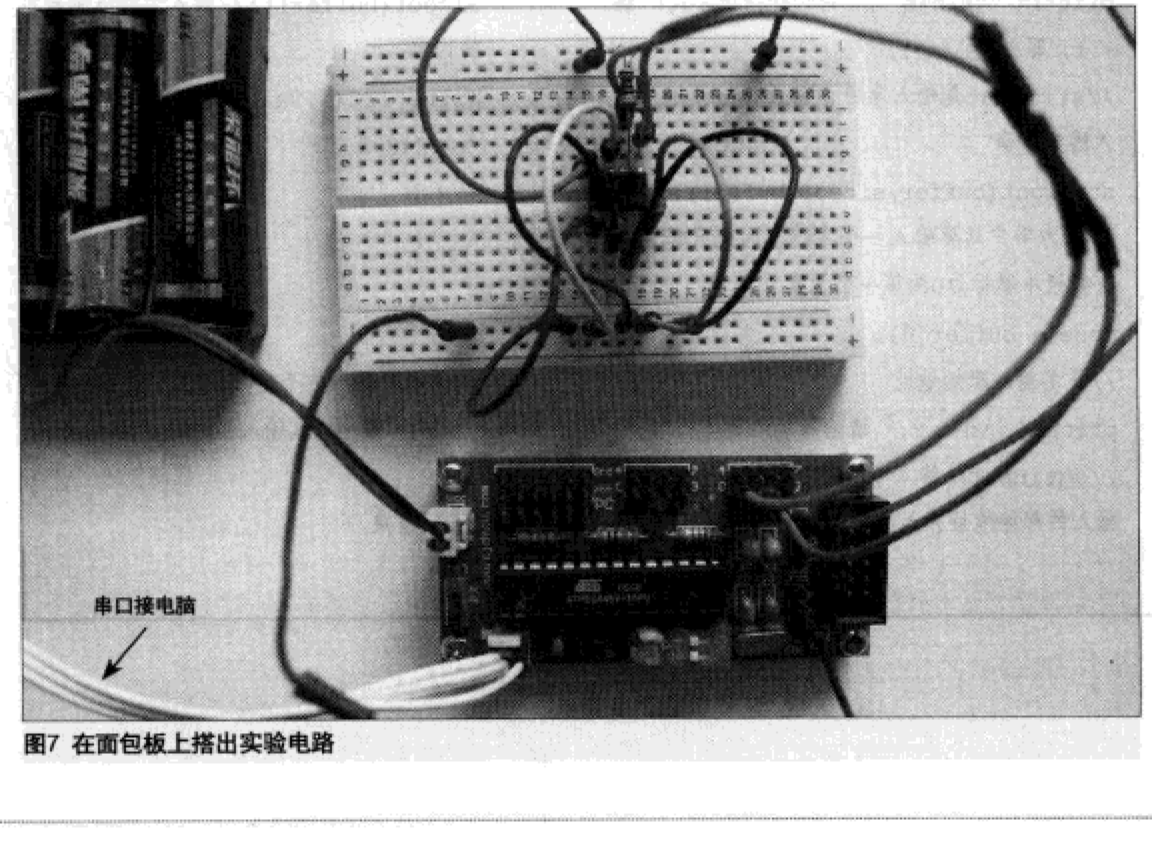


图7 在面包板上搭出实验电路

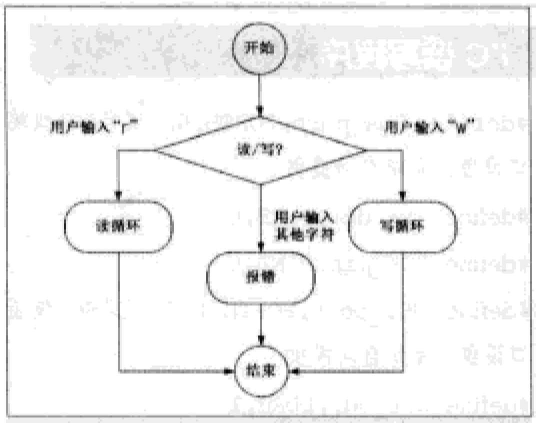
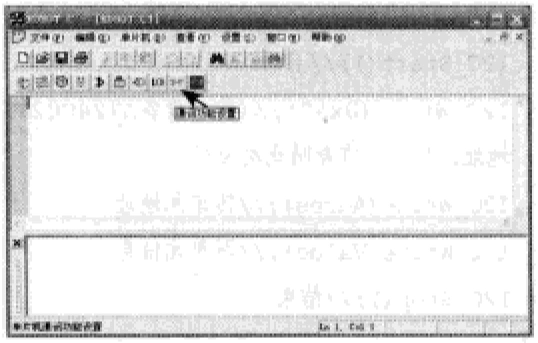


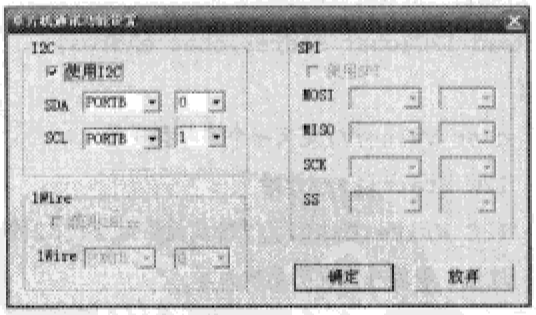
图8 实验程序流程图

初始化

1 打开ROBOT C 主界面，系统自动为你生成一个空白文本编辑界面。点击“单片机通信功能设置”按钮，会弹出单片机通信功能设置对话框。



2 然后分别选择用于SDA和SCL的端口和引脚。图上所示选择了端口PORT B的引脚0用作SDA，端口PORT B的引脚1用作SCL。



3 点击“确定”后返回主界面，你会看到所有相关定义语句自动添加到你的源程序文本编辑界面的顶部。

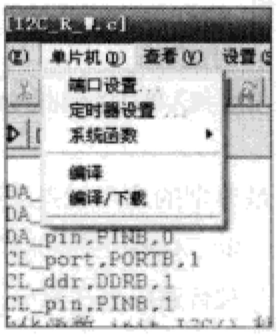
I²C 读写程序

```
#define SDA_port,PORTB,0//定义SDA线端口设置，系统自动提供
#define SDA_ddr,DDRB,0
#define SDA_pin,PINB,0
#define SCL_port,PORTB,1// 定义SCL线端口设置，系统自动提供
#define SCL_ddr,DDRB,1
#define SCL_pin,PINB,1
//请将初始化函数init_I2C()粘贴至主函数内。
//写函数
//输入：char Adres 写入单元地址，char Value 写入内容
//输出：无
Write_I2C(char Adres,char Value)
{
 I2C_Start();//启动
 I2C_Write(0xA0);//传从设备AT24C02的地址，最后一位表明此次为写。
 I2C_Write(Adres);//传单元地址
 I2C_Write(Value);//写单元信息
 I2C_Stop();//结束
}
//读函数
//输入：char sAdres 当前读出单元地址，char eAdres 最后读出单元地址
//sAdres 可以等于 eAdres
//输出：函数返回读出的字节。
Read_I2C(char sAdres,char eAdres)
{
 char Value;//定义一个字符型变量
 I2C_Start();//开始
 I2C_Write(0xA0);//传从设备AT24C02的地址，最后一位表明此次为写。
 I2C_Write(sAdres);//传单元地址
 I2C_Start();//再次启动
 I2C_Write(0xA1);//传从设备AT24C02的地址，最后一位表明此次为读。
 if (sAdres <> eAdres)//判断是否为最后一个地址
 {
  Value=I2C_Read_Ack();//不是最后地址，读并发送“Ack”
 }
 else
 {
  Value = I2C_Read_Nack();//最后一个地址，读并发送“Nack”
  I2C_Stop();//结束
 }
 return Value;//返回读出值
}
main()//主函数开始
{
 char i;//for循环计数变量
 char value;//读出值存储变量
 char iStart;//起始地址
 char iEnd;//终止地址
 char mode;//读/写模式
 char buffer[10];//缓存数组
 //I2C初始化函数，
 init_I2C();
 //RS232串口初始化函数。点按【单片机功能选择工具条】上的【串口】按钮，
 //系统会自动为你插入此函数。
 init_RS232();
 //在电脑屏幕上打出读/写方式选择语句
 printf(“\r\n%s”,”请选择操作方式：读 = r，写 = w\t”);
 //strinput是输入字符串函数，接收用户输入的字符串
 strinput(buffer,sizeof(buffer));
 //因为用户只要输入一个字符，因此只保留缓存数组中脚标为0的第一个元素
 mode = buffer[0];
 //提示输入起始地址
 printf(“\n%s”,”请输入起始地址：”);
 //dgtinput是输入十进制数字函数，将用户输入的起始地址存入变量 iStart。
 iStart=dgtinput(buffer,sizeof(buffer));
 //提示输入结束地址
 printf(“\n%s”,”请输入结束地址：”);
 //将计数地址存入变量 iEnd
 iEnd=dgtinput(buffer,sizeof(buffer));
 if(mode==‘r’)//判断用户输入的是否为读“r”
 {
  for (i = iStart;i <= iEnd;i++)
  //是，进入读循环，直至结束地址
  {
   value = Read_I2C(i,iEnd);
   //读出AT24C02的一个值
   printf(“地址：%d  \t内容:0x%X\r\n”,i,value); //在电脑屏幕上显示
  }
 }
 else if (mode == ‘w’)//如果是写“w”
 {
  for (i = iStart;i <= iEnd;i++)
  //进入写循环
  {
   printf(“地址:%d\t十六进制内容:\r”,i);//提示写入内容
   // hexinput 是十六进制输入函数
   value = hexinput(buffer,sizeof(buffer));//读入十六进制表示的内容
   Write_I2C(i,value);//将用户输入写入AT24C02
  }
 }
 else
 {
  //如果用户输入的不是“r”或“w”报错。
  printf(“操作方式输入错！%c”,mode);
 }
}//主函数结束
```

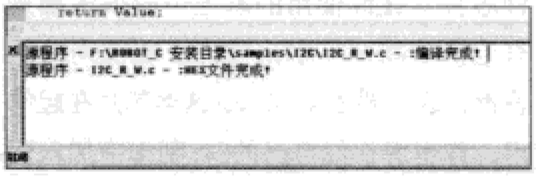
编译与下载

源程序写完后就可以下载到单片机中，让单片机执行了。

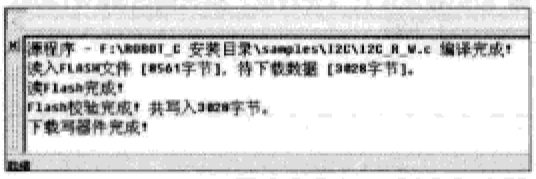
1 ROBOT C开发环境设置了两种模式，一种是只编译不下载，另一种是编译后立即自动下载。在主菜单上选“单片机”，弹出如右图所示的子菜单。



2 选择“编译”，如果语法没有错误，系统的信息窗口会出现以下信息。



3 系统给出的信息表明你的源程序不存在语法错误，并可以生成十六进制的hex 文件供下载。然后，检查插在USB端口的下载电缆与单片机主板上的下载端口连接良好，此时选择“编译/下载”就可以完成下载了。如果一切顺利，你将会看到如下通知信息。



4 至此，软件编写和下载工作就完成了，剩下的就是与电脑的对话了，如果你的RS232连接通路没有问题，就可以与AT24C02对话了。

关于ROBOT C

首先，此软件是免费的。笔者开发此软件的目的主要在于推行一种普及、学习现代电子信息技术的方法，这种方法就是“先实践，后理论，先模仿，后探究”，使得广大电子信息技术的爱好者不仅仅局限于传统的模拟电路和数字电路。你可以在你的DIY作品中轻松加入单片机（微处理器）以实现自动控制、智能化的效果。如果你确实是一个名副其实的电子爱好者，这样的实践会激起你更大的求知欲望，用这些实践经验再去啃技术细节就变得轻松多了！欢迎读者访问《无线电》杂志网站www.radio.com.cn或作者的网站 www.machmouse.com、www.robotc.cn下载此软件包。该软件目前处于β版，即测试、试用阶段，欢迎读者朋友提出自己的意见、建议和批评，作者的邮箱是machmouse@hotmail.com。

使用方法

本软件不需要安装，你要做的就是将下载的软件压缩包展开。展开后你会见到如下目录：

```
\asm_lib//几个库文件文件夹
\doc//说明文件文件夹
\samples//实例源程序文件夹
\usbDriver//USB下载器驱动文件夹
\work_file//临时文件文件夹
ROBOT_C.exe//exe应用程序
```

将这个目录拷贝到电脑中任意一个硬盘驱动器下，就可以运行了。需要说明的是几个基本设置。一个是库文件目录，即“asm_lib”目录，一个是工作文件目录，即“work_file”目录。这两个目录缺省是放在主目录下的，应用软件ROBOT_C.exe启动后也是缺省使用这两个目录。如果你打算将其放到其他位置，就要从主菜单上的“设置”项选择“文件目录”，调出“文件目录”对话框，手动选择，最后点击“确定”按钮完成设置。

另一项设置就是串口。系统缺省使用的是它能查到的你电脑上可用的第一个串口，波特率为9600。如果你的串口适配器连接在其他端口，你就需要设置。也是在“设置”里选“串口设置”，按照对话框提示设置即可。

帮助文档

ROBOT C基本上是C语言的一个子集。这样做一方面是出于简化，另一方面很多电子爱好者的目的不是成为软件编写高手，而是实现自己的创想，重在过程，有很多高深的软件技巧根本用不着。否则，你应该找专业工程软件去学习。

但无论如何，总要有一个基本的语法和使用说明。因为这个软件的开发原则就是简单，可想而知其文档也不会复杂。笔者将这些说明放在\doc目录夹里，同时挂在网上供有兴趣的读者查阅。因为这款软件还在丰富和完善中，所以有关文档做得不是很正式，因为很可能以后会有变化。

库文件

放在\asm_lib文件夹里的几个库文件都是文本形式的AVR单片机汇编语言库函数。ROBOT C的核心就是将复杂的源程序隐藏在库文件里，暴露给用户的是简单的函数语句，往往就是一条语句，以达到简化的目的。加上Windows用户友好界面里的对话框模式，使得书写这些函数更加简单，无需任何记背。这些特点特别适合广大电子爱好者和青少年顺利地跨过软件编程关，将单片机这种软硬结合的电子产品加入到你的作品中，拓宽你的创作视野。

特别提示：

不要对这些文本文件随意改动，除非你透彻了解了相关的技术细节，否则会造成不可预知的问题。这些库函数可以作为你以后打算深入学习单片机技术时的参考资料，那时你可以尝试对代码进行优化、改进和补充，笔者期待着与你的交流。

USB下载器

USB下载器是典型的即插即用外部设备，当你第一次使用下载功能时，Windows会提示你安装此设备，剩下的就是按照提示，找到\usbDriver目录完成安装。使用中，将USB下载线的一端插入你的电脑上的一个空闲USB插孔，另一端（10芯插头）插在ATmega 8/48系列芯片的学习板或开发板的10Pin插座上即可。

RS232串口

RS232串口是一个“古老”但仍充满活力的通信接口，台式电脑与众多电子设备或仪器都配有该接口，可以非常方便地互通互联。特别是在单片机应用领域，一个主要应用就是与电脑（上位机）连接，以实现系统的人机交互界面。另一重要应用就是在单片机开发过程中，在软件的关键部位或调试点插入文字打印语句，如printf()等，报告软件运行状态，起到调试作用。所以，灵活运用RS232串口的是单片机玩家一项必备的技能。鉴于本文的主题是I²C通信协议，所以不对RS232做详细叙述，读者可以在网上或众多教科书中找到翔实的资料。如果你确实是第一次接触RS232也不要紧，只要按照本文描述的步骤和图解也可以达到目的。具体做法是将鼠标的光标放到主程序靠前的位置，一般是变量定义以后的段落，按图9所示点击“串口”按钮，系统会自动为你生成init_RS232()函数语句，并插在光标所在位置。

需要说明的是，很多笔记本电脑去掉了串口，这只是硬件层面的表象，Windows操作系统仍支持串口作为其标准的外部设备。此时需另外购置一个RS232转USB的桥接器。桥接器的一端是RS232的阳端插座配接RS232电缆的阴端插头，另一端是USB插头，插入电脑的USB插座后，Windows发现新硬件的界面就会蹦出来，接下来的事就不用我多说了。最后你会发现在Windows硬件管理的界面中端口的条目下会多出一个COM口，记住其编号。重启ROBOT C开发平台，调出“串口设置”对话框，如安装一节所述，此时你会发现一个新的COM口选项出现了，选择它并按“确定”完成设置。

学习I²C通信协议的用途

I²C是一个比较新但被迅速推广应用的协议，主要是因为现代大规模集成电路技术的发展，将以往许多功能性的、成熟的逻辑电路集成到一个微小的芯片中，而且这类协议占用的硬件资源也少，体现在只用两个引脚接入系统即可完成通信，这就可以大大缩小芯片的封装体积。

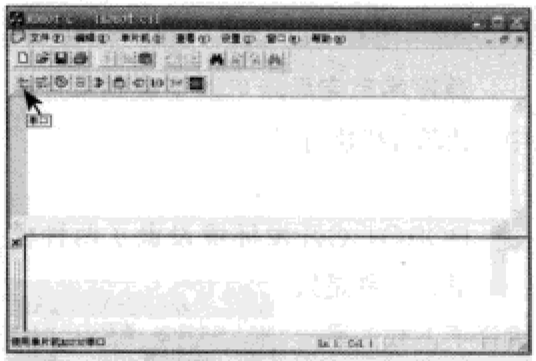


图9 插入串口初始化语句

最典型的应用就是DS1307等时钟芯片和AT24CXX等EEPROM存储芯片。这两类芯片被普遍应用在家电、仪器仪表中。前者可以自动产生年、月、日、时、分、秒和星期数。毫无疑问，如果你想在你的系统中加入计时、报时功能，首选就是上述时钟芯片。在你使用的家电中有很多都具有记忆功能，可以记住你上次使用时的设置，这主要是AT24CXX这类芯片在起作用。你也想在你自己的DIY制作中加入记忆功能吗？本文的例子一定对你有帮助。唯一需要注意的是这些芯片的地址。

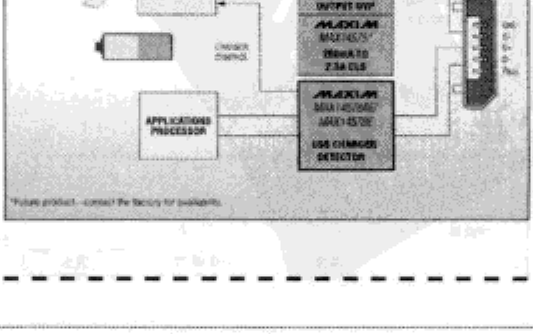
老实讲，我不清楚Arduino是否在其C语言环境中也开发了类似的函数。没有也没关系，这套实验的软件完全可以在Arduino上跑，问题是如何将I²C库函数加入到Arduino系统中，读者不妨一试。

■ 相关程序请到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn上下载

Maxim推出USB电池充电检测器新品——MAX14578E/MAX14578AE

Maxim推出小尺寸、符合USB电池充电规范的USB电池充电检测器MAX14578E/MAX14578AE。除了可以检测Apple和Sony的专有充电器适配器外，该系列器件还可以检测USB标准下行端口（SDP）、USB充电下行端口（CDP）或专用充电器端口（DCP）。一旦检测到充电端口，该芯片将控制外部锂离子（Li+）电池充电控制器，以优化充电时间和充电效率。

MAX14578E/MAX14578AE允许用户利用各种电源进行充电，借助这种应用灵活性，用户无须为设备重复配备专用充电器。此外，USB数据引脚具有高达±15kV（人体模式）和±8kV（IEC 61000-4-2接触放电）的ESD保护。这些特性可大大降低功能密集的消费类设备的系统复杂度、元件成本和电路板空间。该芯片采用12焊球、0.4mm焊球间距、1.3mm x 1.68mm WLP封装（针对空间受限应用）和16引脚TQFN封装（便于生产）。器件工作于-40~+85℃扩展级温度范围。



基于AT89C2051实现恒流源式A/D转换

◇程静涛

AT89C2051是价格最便宜的单片机之一，适用于简单的控制及显示电路，它本身不具有A/D转换功能，给设计的集成度带来一些影响。要想完成A/D转换，必须额外添加A/D转换集成电路，这就增加了设计的复杂度，限制了其应用范围。本文另辟蹊径，利用AT89C2051的内部电路特点，只需外加少量元器件即可完成精度较高的A/D转换。本文电路的创新型设计之一是采用恒流源式电容充放电原理使其转换接近线性，且测量动态范围宽，可满足一般A/D转换的使用要求。

AT89C2051是Atmel公司生产的小型20引脚的单片机，常用型号为AT89C2051、AT89C2052，兼容MOS-51指令集，有2KB以上的Flash内存（X尾数越高，内存越大），可连续擦写1000次，具有2.7~6V的宽电压范围、0~24MHz晶体振荡器、128B的RAM。与51系列不同的是，它的12脚和13脚内嵌入了一个比较器，可以进行双功能使用：在普通情况下，它们可以作为I/O口使用，在特殊情况下时，可利用内部的比较器进行功能扩展。该集成电路的内部电路和管脚接口电路如图1所示。

从图1中可知，12脚P1.0兼作比较器的正相输入端，13脚P1.1兼作比较器的反相输入端，比较器输出为内部的P3.6脚。这样的创新型设计给单片机开发者带来了极大的想象空间，本文就是利用该比较器

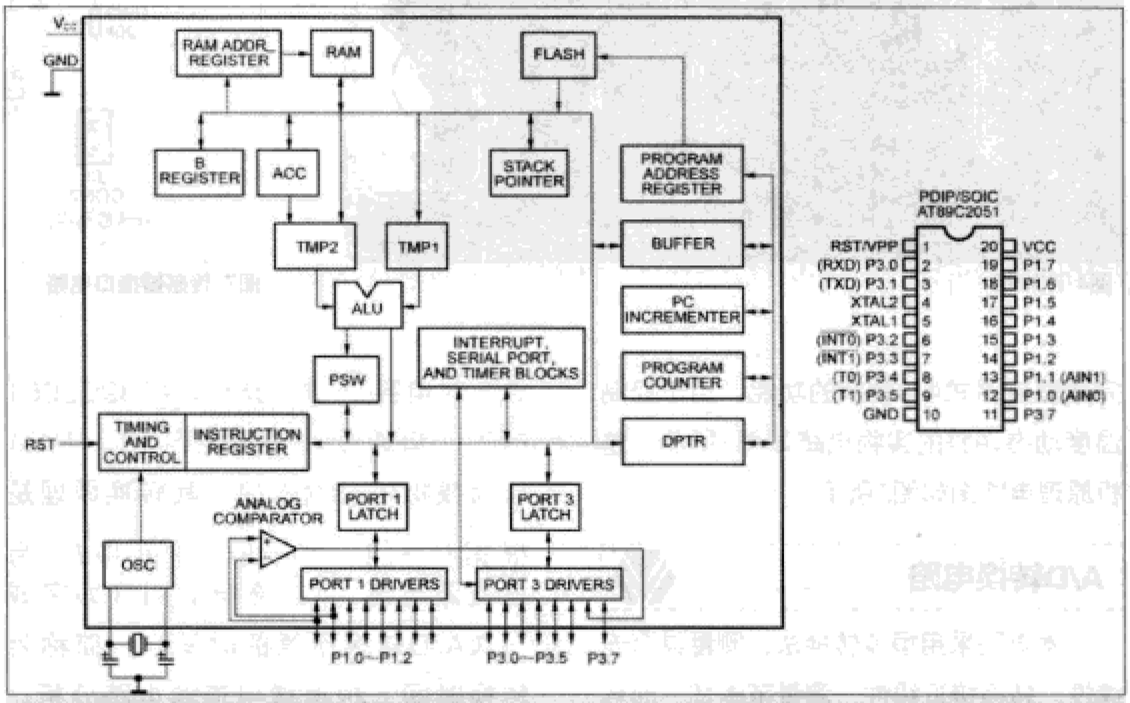


图1 AT89C2051的内部电路和引脚接口电路

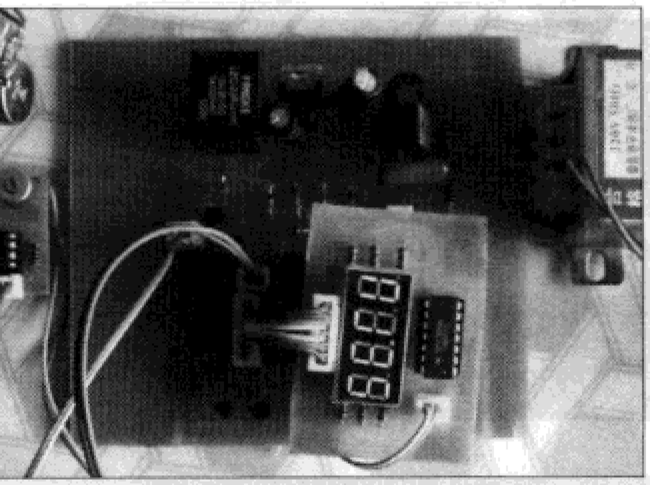


图2 用于控制温度动态调整的实物电路

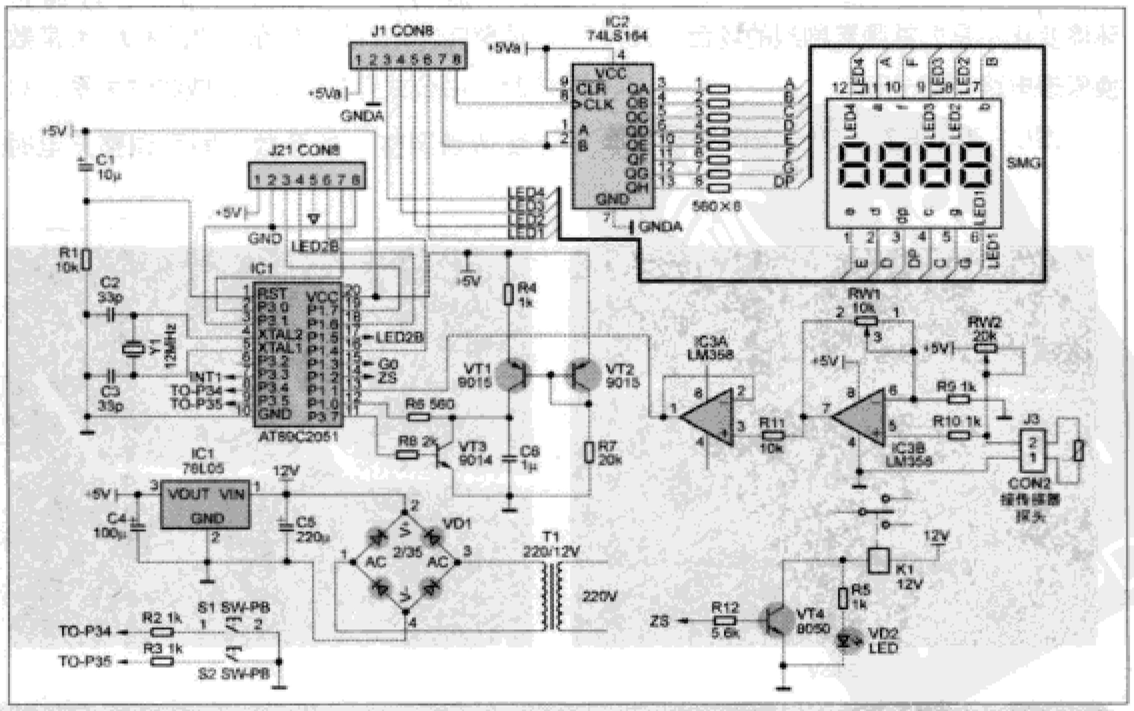


图3 整机原理电路图

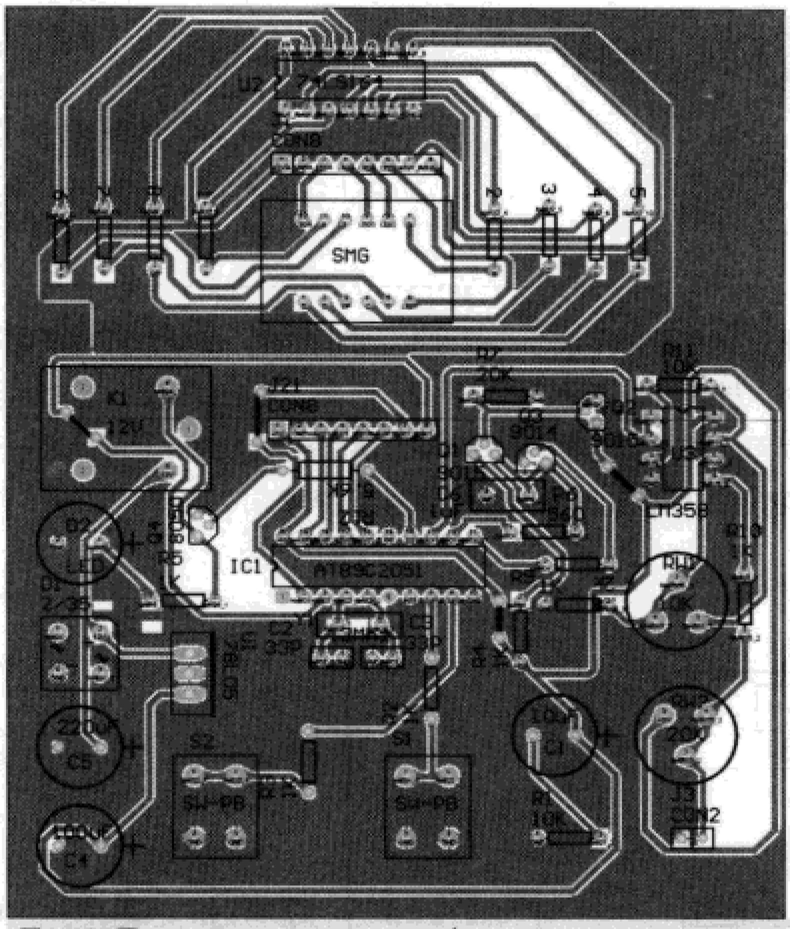


图4 PCB图

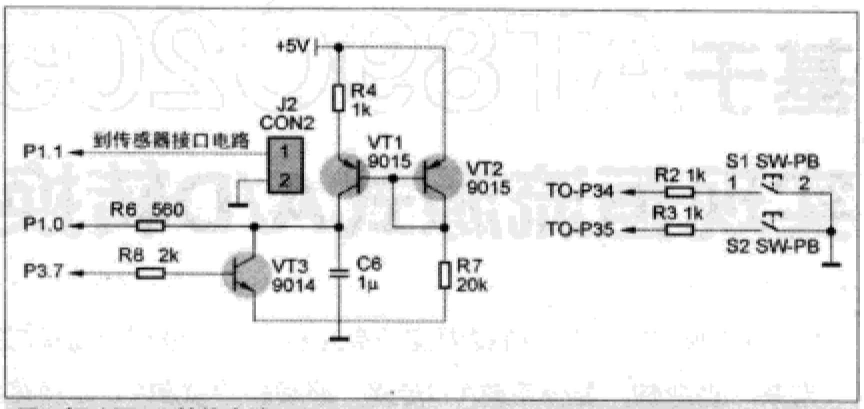


图5 恒流源A/D转换电路

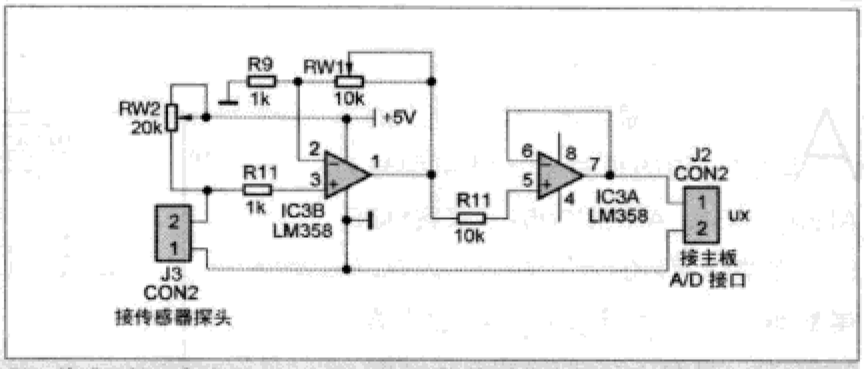


图7 传感器接口电路

完成恒流源式A/D转换的功能。用于控制温度动态调整的实物电路如图2所示，整机原理电路图如图3所示。

A/D转换电路

本电路采用恒流转换法，测量具有连续性，转换接近线性，测量范围宽，而且不用预存储数据，程序短小，可满足一般环境变化不是非常频繁剧烈的场合，其转换原理电路如图5所示。

图5中R4、R7、VT1、VT2组成恒流源，对电容C6进行充电。AT89C2051的P1.0口通过R6外接电容C6，P1.1口为模拟信号输入端。其转换原理是根据 $U_C=\frac{1}{C}\int_0^T I_{ss}dt=\frac{1}{C}I_{ss}T$，其中$I_{SS}$为恒流源电流，$T$为充电时间（即完成一次A/D转换所需的时间），简称为转换时间。根据微电流源电路分析，$I_{SS}=\frac{V_T}{R4}I_n\frac{I_{VT2C}}{I_{VT1C}}$，$I_{VT2C}\approx I_{R7}=\frac{V_{CC}-0.7}{R7}$，可通过调整R4和R7改变$I_{SS}$值，当$C$和$I_{SS}$为常数时，由公式可知，$U_C$与$T$成线性关系，只要适当调整$\frac{I_{SS}}{C}$的系数，即可调整充电时间的长短。

转换分为两个阶段：（1）放电，目的是使C6上电容从零开始充电，开始A/D转换。VT3的集电极、发射极并在电容C7两端，当P3.7脚高电平时，VT3管导通，电容快速放电到零电压。（2）充电，开始计数。当P3.7脚为低电平时，VT3管截止，+5V电压通过恒流源对C6进行充电，充电电压按照公式$U_C=\frac{I_{SS}}{C}T$进行，此时充电曲线的充电时间和充电电压近似为线性关系。图6分别为实测0.05V、1.75V和

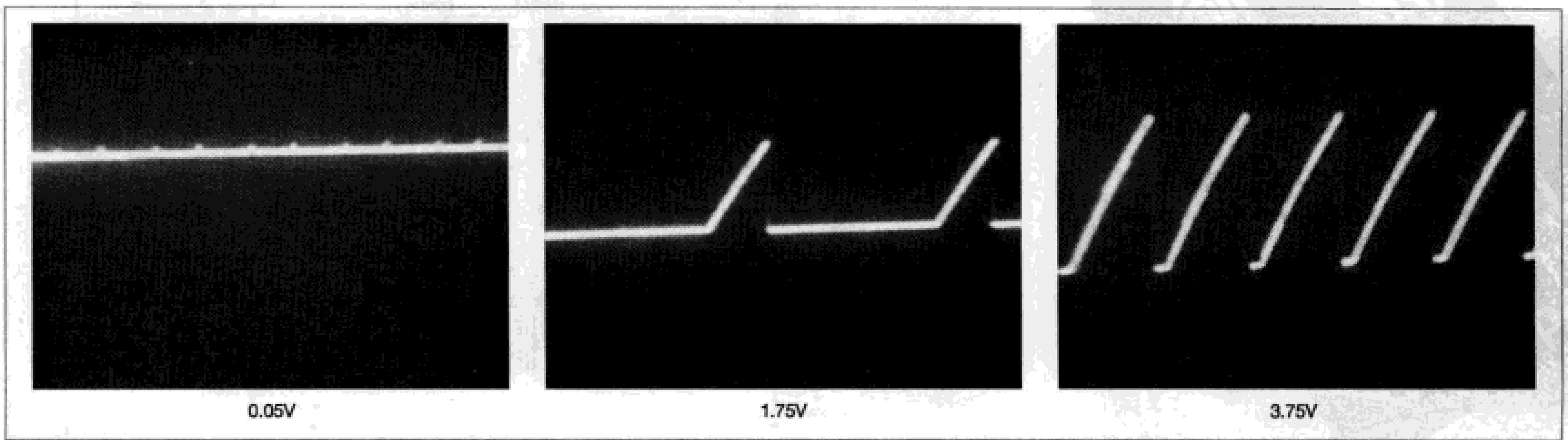


图6 3组模拟信号输入时所对应的充电电压

3.75V 的3组模拟信号输入时所对应的充电电压。

从图6中可以看出，充电电压基本是线性变化的。本电路采用恒流源进行充放电后，线性范围大大提高，所以测量精度有保障。测量时，利用单片机内部定时器T1计时。当P1.0充电电压U_C从0逐渐升高并大于等于P1.1脚的模拟信号*ux*时，即$U_C \geq ux$，P3.6脚变为低电平，此时计数值（*Count*）与模拟电压*ux*呈线性关系，即$Count=Kux$，$K=\frac{T}{T_z}=\frac{C}{I_{SS}T_z}$，$T_z$是单片机执行一次加计数所需要的时间（后文讲述）。*ux*可通过外部传感器接口电路进行调整，传感器接口电路如图7所示。

传感器接口电路由LM358中的一个放大器IC3B担任同相放大，$U_x'=(1+\frac{RW1}{R9})U_W$，$U_W$是传感器净输入，经IC3B放大输出$U_x'$，调整RW1可以改变放大倍数，满足单片机模拟输入要求，RW2是为了可以和各种类型的温敏传感器进行配接而做成可调整式的，实际调试时通过调整RW1和RW2即可改变输出模拟电压。LM358的另一个放大器IC3A设计成缓冲器形式，即$ux=U_x'$，可以更好地隔离传感器与单片机的相互影响，提高测量精度和稳定性。

数码显示电路

本电路采用4位数码动态显示电路，如图8所示。

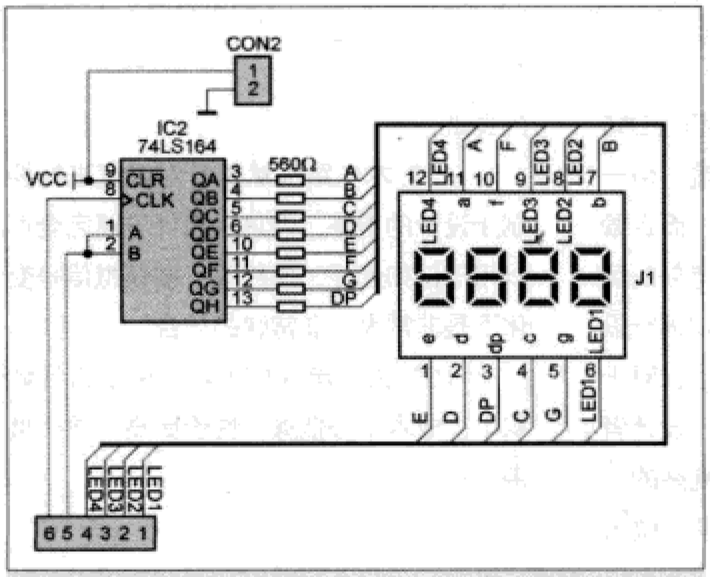


图8 4位数码动态显示电路

将AT89C2051的串行口设置为方式0移位寄存器方式，即使SCON=0x02，单片机的P3.1脚作为移位脉冲接到移位寄存器（74LS164）的8脚CLK端，P3.0脚输出串行数据（低位在前）加到74LS164的1、2脚，74LS164的QA～QH输出段码加到4位数码管的A~G和DP小数点。值得注意的是，A/D转换得到的计数值是二进制数，不可直接送到串口进行显示，应首先将其值转换为BCD码，形成4位十进制BCD码，再将其送到串口，并通过P1.7、P1.6、P1.5、P1.4控制4个共阴数码管公共端，依次显示个、十、百、千4个数码显示，即可显示出所测量的电压值。

按钮控制电路

本电路只用两个按钮S1、S2完成预设加、减和正常工作，如图5所示。其工作原理是：一开始通电，数码显示“SETU”预设状态，按动S1或S2可以增加或减少预设值，调整到期望值之后，同时按下S1和S2，松开后电路开始加热。

设计中应注意的问题

本电路完成A/D转换、触发电压波形产生、数码显示、键盘调整等功能，涉及硬件和软件的配合。根据人眼的视觉暂留现象，为了使动态显示效果连续、不晃眼，根据实际检验，控制显示时间应不小于5ms。这就需要4个功能程序设计应尽量占用极少时间，保证显示时间足够长。整机电路各点波形之间的关系如图9所示。

从图9中可知，各点波形周期是10ms。由A/D转换波形可知，外部中断开始时（梯形波下降沿时刻），A/D转换开始。A/D转换完成时间*T*与模拟电压*ux*的幅值有关，幅值越高，转换时间*T*越长，转换时间还与电容的充电时间长短

A/D转换程序

```
uchar a_d()
{
 uint count,
 P37=0;  //电容开始充电
 count=0;
 do
 {
  count++;  #计数
  for(i=0;i<2;i++){;}//调整计数间隔
  }while(P36==0);  //当P3.6脚为低电平
  时，计数结束。
 P37=1; //电容放电
 return(count); //返回计数值。
}
```

电压值显示程序

```
void bcd_crt(uint KValue)//BCD码转换程序
{
 uint du[5];uint YMH;
 du[1]= KValue%10;//个位数
 KValue= KValue/10;
 YMH=ym[du[1]];
 display(1,YMH);//调用显示程序，显示个位
 du[2]= KValue%10;  //十位数
 KValue= KValue/10;
 YMH=ym[du[2]];//调用显示程序，显示十位
 display(2,YMH);
 du[3]= KValue%10;  //百位数
 KValue= KValue/10;
 YMH=ym[du[3]];
 display(3,YMH);//调用显示程序，显示百位
 YMH=ym[KValue];
 display(4,YMH);//调用显示程序，显示千位
}
void display(uchar wz,uint dm)//显示程序
{
 TI=0;
 switch(wz) //位开关
  {case 4:{ P17=0;P16=1;P15=1;P14=1
  ;break;}  //千位显示
  case 3:{ P17=1;P16=0;P15=1;P14=1;
  break;}  //百位显示
  case 2:{ P17=1;P16=1;P15=0;P14=1;
  dm=dm+1;break;} //十位显示
  case 1:{ P17=1;P16=1;P15=1;P14=0;
  break;}  //个位显示
 }
 SBUF=dm;  //将BCD码送串口
 mDelay(5);//延时
}
```

有关，电容容量越小，转换时间越短。转换精度与计数时间有关，每执行一次count++，计数值加1，而count++ 语句的指令执行时间又与单片机的机器周期有关，AT89C2051的机器周期$T_S=\frac{12}{f_T}$，f_T是单片机时钟电路所接的晶振频率，由前述$Count=\frac{T}{T_E}=\frac{C}{I_{SS}}U_C\cdot\frac{1}{T_E}=KU_C$、$K=\frac{C}{I_{SS}T_E}$可知，当$U_C=ux$时，$Count=Kux$。而$T_E=nT_S$，$n$是执行一次加计数所需的机器指令个数，一般约需2~4个机器周期，所以要想使计数精度提高，一定要减小机器周期。

所谓精度高，即使K值尽量增大。从上述分析可知，要想在10ms内完成A/D转换、触发电压波形产生、数码显示3个步骤，合理分配3个步骤的时间是十分必要的，一般应使A/D转换时间T限制在小于5ms之内，则可使数码显示字符看上去不跳跃。下面举一个设计实例来说明A/D转换电路中电容C和恒流源的确定。

设ux输入1V电压时，为精确显示毫伏级的变化，应使K=1000，$Count$计数1000，经BCD转换可显示“1.000”数字，由$K=\frac{C}{I_{SS}T_E}$，如选用12MHz的晶体振荡器，$T_S=\frac{12}{f_T}=1\mu s$，$T_E=nT_S=4T_S=4\mu s$，选择$C=0.1\mu F$，$I_{SS}=\frac{C}{K\cdot T_E}=25\mu A$，验证转换时间$T=\frac{uxC}{I_{SS}}=4ms$，满足设计要求。根据微电流源电路分析（图5），$I_{SS}=\frac{V_T}{R4}I_n\frac{I_{VT2E}}{I_{VT1C}}$，$I_{VT2C}\approx I_{R7}=\frac{V_{CC}-0.7}{R7}=\frac{5-0.7}{20\times10^3}=0.215mA$，从公式可知，调整R4或R7均可改变$I_{SS}$的大小，使其符合要求。

另外，触发信号产生和BCD码转换位选择等程序约需10~15个机器周期。显示时间$T_F=10ms-(T+15\mu s)=10ms-(4ms+15\mu s)\geq 5ms$，满足设计要求。

执行完“SBUF=dm”语句后应加一条“mDelay(5)”延时程序，以免串口输出时间过短，使数码显示字符跳跃。

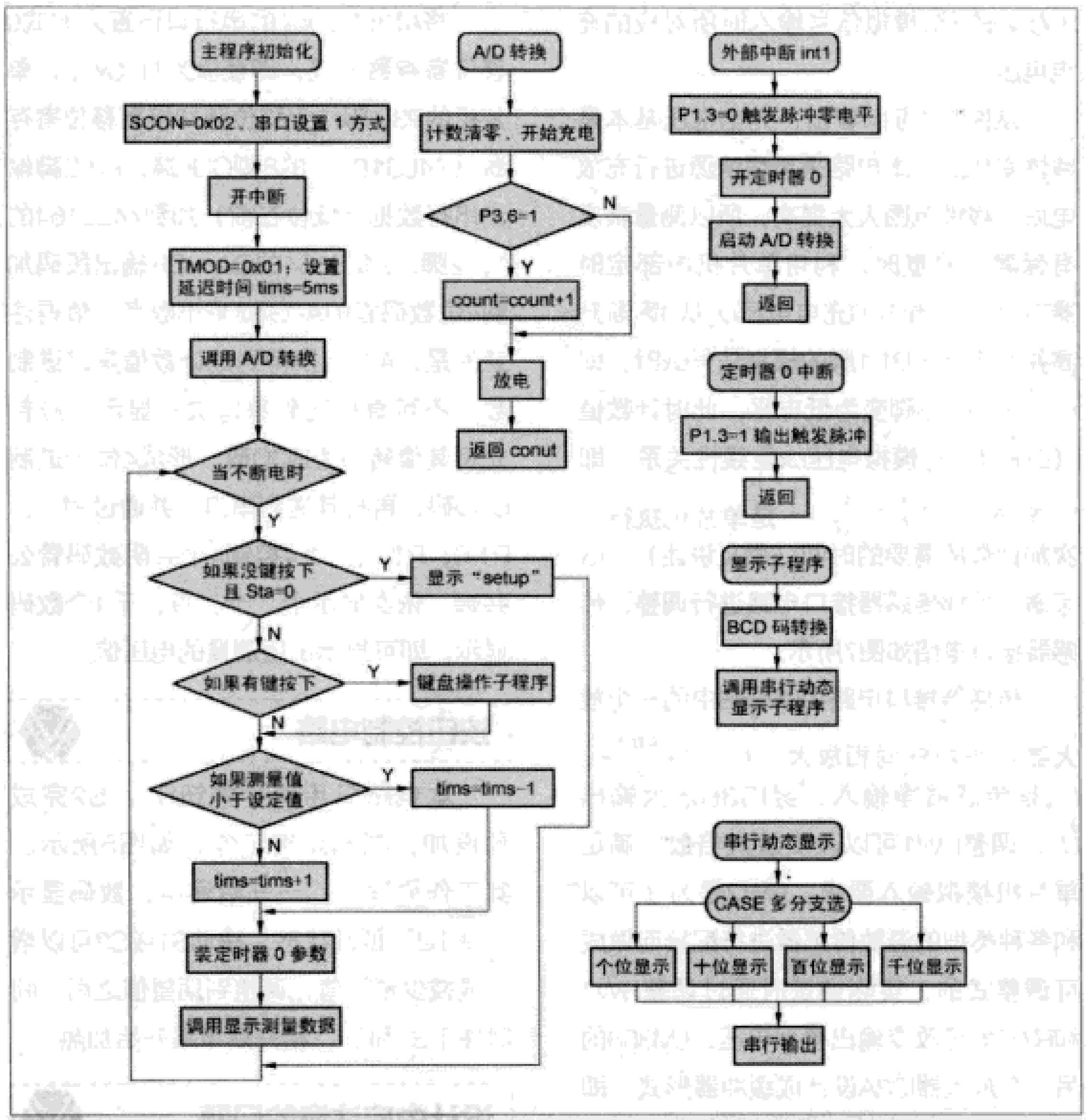


图8 整机参考流程图

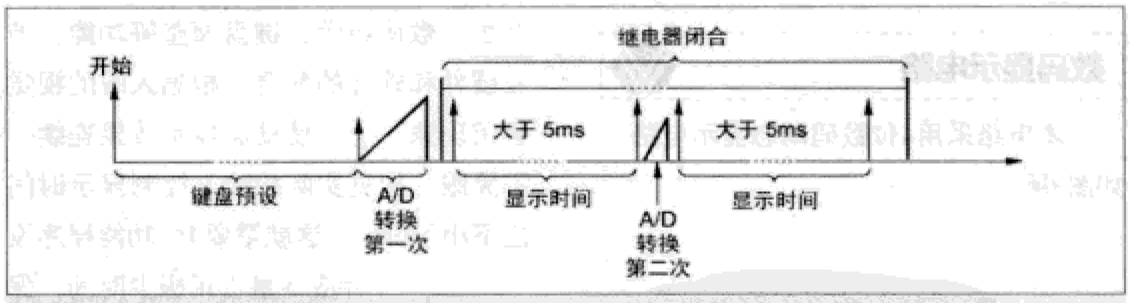


图9 整机电路各点波形之间的关系

结论：

通过该电路的设计实验，可以得出如下结论：

（1）AT89C2051虽然做了小小改动，却给设计者带来极大方便。就A/D转换而言，现在的单片机很多都具有A/D转换功能，其转换精度之高不言而喻，但一般价格要比AT89C2051高2~3倍，而且管脚多。在一般环境要求不是十分苛刻的场合，使用这些单片机、DSP或ARM进行设计无疑是大马拉小车，大材小用了。对于设计者而言，讲究经济效益是一个设计者必备的。能用简单的，就不要用复杂的。本设计就是突破以往的A/D转换模式做出的尝试。

（2）本电路虽然是针对温度进行控制所设计的电路，但这种设计思路完全可以用于诸如光控、声控等一些模拟信号变化不是非常大、非常快的场合。

（3）由于单片机小巧，所以设计体积小，成本十分低廉，性价比高，便于携带。

■ 相关程序请到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn上下载

单片机开发实例及程序研究

◇周兴华

51单片机与CPLD之间使用并行总线进行通信

51单片机与CPLD（Complex Programmable Logic Device，复杂可编程逻辑器件）之间的连接与通信，就相当于两台设备之间的连接与通信，需要遵循一定的格式与规定，才能保证实现快速准确、高效的通信。通常，两个设备之间可以选择多种通信方式，常见的有异步串行通信（UART）、I²C总线通信、高速同步串行通信（SPI）、高速并行总线通信等。在高速通信的应用中，由于传统的MCS-51单片机不具备SPI通信接口，那就只能使用高速并行总线的方式进行通信。高速并行总线通信在短距离上具有最高的通信速度，但它占用的I/O口线要比SPI通信稍微多一些。

MCS-51单片机外部扩展总线通信原理

51单片机与CPLD之间的高速并行总线通信，是基于MCS-51外部总线的扩展方式而实现的。51单片机没有对外专用的地址总线和数据总线，在进行对外扩展存储器或I/O口时，需要扩展对外总线。

MCS-51单片机外部3总线如图1所示。在ALE为高电平时，P0口上输出A0~A7低8位地址信号。通常51单片机需要外接锁存器（地址锁存器），在ALE的有效电平边沿进行锁存，此时P0口的低8位地址信号被锁定，在ALE无效期间，P0口传送数据，这样P0口就扩展为地址/数据复用口。

P2口可用于输出A8~A15高8位地址信号，所以16位地址总线由P2口和P0口锁存器构成。P0口兼作8位数据总线。

输出控制线/RD、/WR、/PSEN、ALE

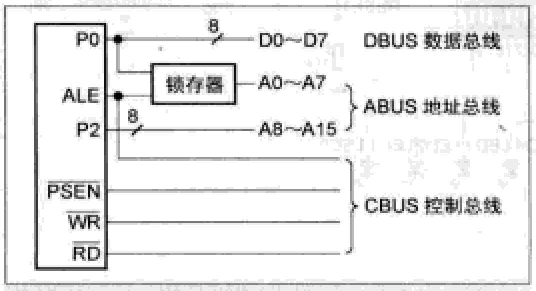


图1 MCS-51单片机外部3总线示意图

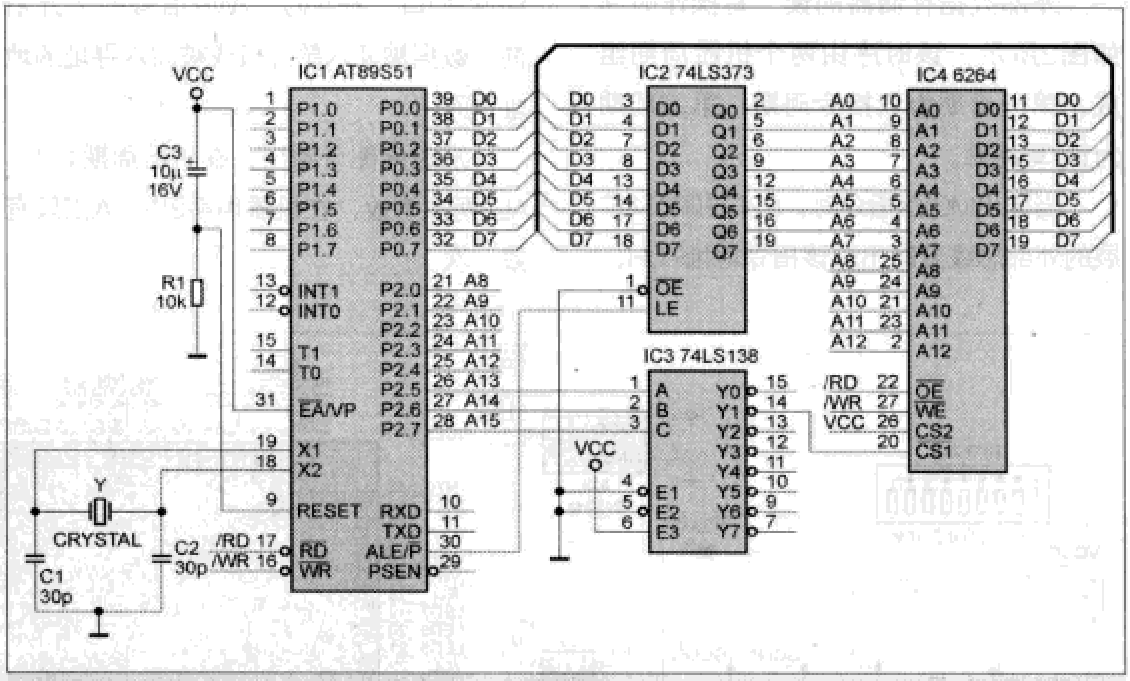


图2 MCS-51单片机扩展外部数据存储器（6264静态RAM）的典型电路

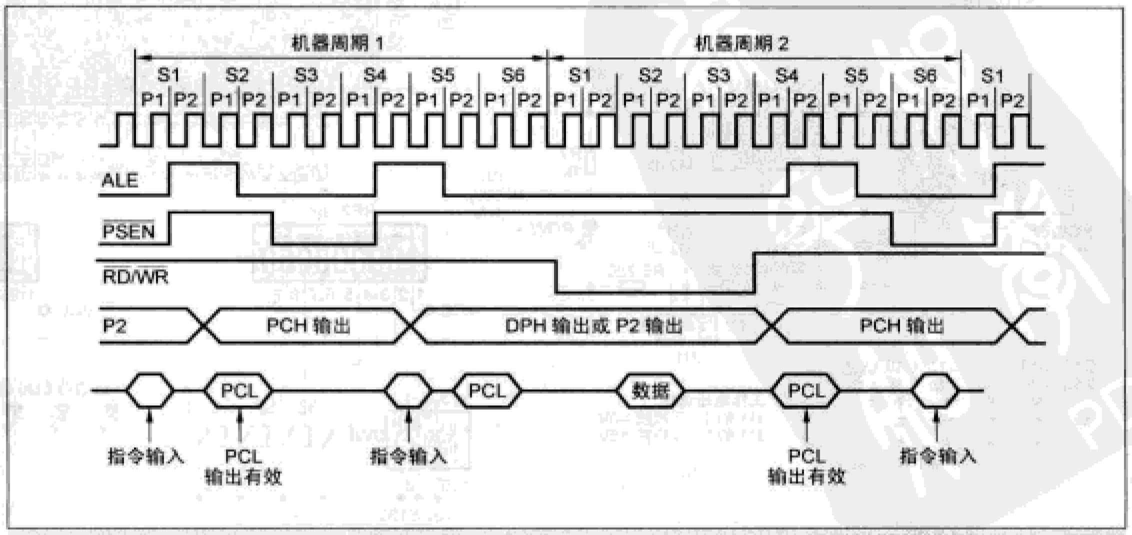


图3 外部数据存储器的读、写操作时序

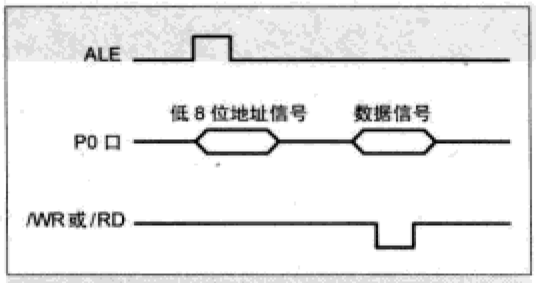


图4 外部数据存储器操作的简明时序图

等构成了外部控制总线。

MCS-51单片机扩展外部数据存储器（6264静态RAM）的典型电路如图2所示。外部数据存储器的寻址范围为64KB，并与外部I/O口统一编址。外部RAM及外部I/O口的读写控制信号为/RD和/WR，它们由MOVX指令产生。

外部数据存储器的读、写操作时序如图3所示，该时序由两个机器周期组成，第一周期为取指令周期，第二周期为读/写周期。

当取出MOVX指令时，P2口和P0口扩展的外部总线分时出现该指令地址PCH、PCL值及其指令码，执行指令时，外部总线分时出现外部RAM地址DPH、DPL及读写的数据。

在取指令周期（周期1）的S2期间，ALE有效，P2口输出PCH，P0口输出PCL，ALE的下降沿将PCL值打入地址寄存器。S3、S4期间，按P2口和地址锁存器的地址取出的指令出现在P0口，在/PSEN的上升沿前，CPU将取出的指令存入指令寄存器IR。在S5期间，P2口输出外部RAM地址DPH，P0口输出DPL。

执行周期（周期2）的S1以后，读、写信号/RD、/WR变为有效，期间按照DPTR输出的地址，对外部RAM进行读写操作，S2期间，读写数据出现在数据总线端P0口，在/RD、/WR信号的上升沿前，数据被读入单片机或被写入寻址的地址单元。

从时序图可看出，在机器周期1中，ALE两次有效，在机器周期2中，ALE只有效一次。

外部数据存储器操作的简明时序图如图4所示。由以上分析可见，我们可以将CPLD当作51单片机的外部扩展RAM来进行读写操作。

电路原理及设计

51单片机与CPLD的具体连接电路如图5所示，连接组成框图如图6所示。CPLD使用Xilinx公司的XC95108，它是目前应用较为广泛的一种器件，具有2400个门电路、108个宏单元，传输延迟时间为7.5ns，输出端有24mA的驱动能力，相容于3.3V或5V的I/O口，可进行高达10000次的烧写。XC95108可直接与5V工作的单片机（例如AT89S51）进行连接，大大方便了设计与使用。

单片机与CPLD通信的设计思路为：在CPLD内构建3个8位的寄存器（ADDRESS_REG、KEY_REG、LED_REG）。

ADDRESS_REG内存放用于操作端口的地址指令。当单片机使用MOVX指

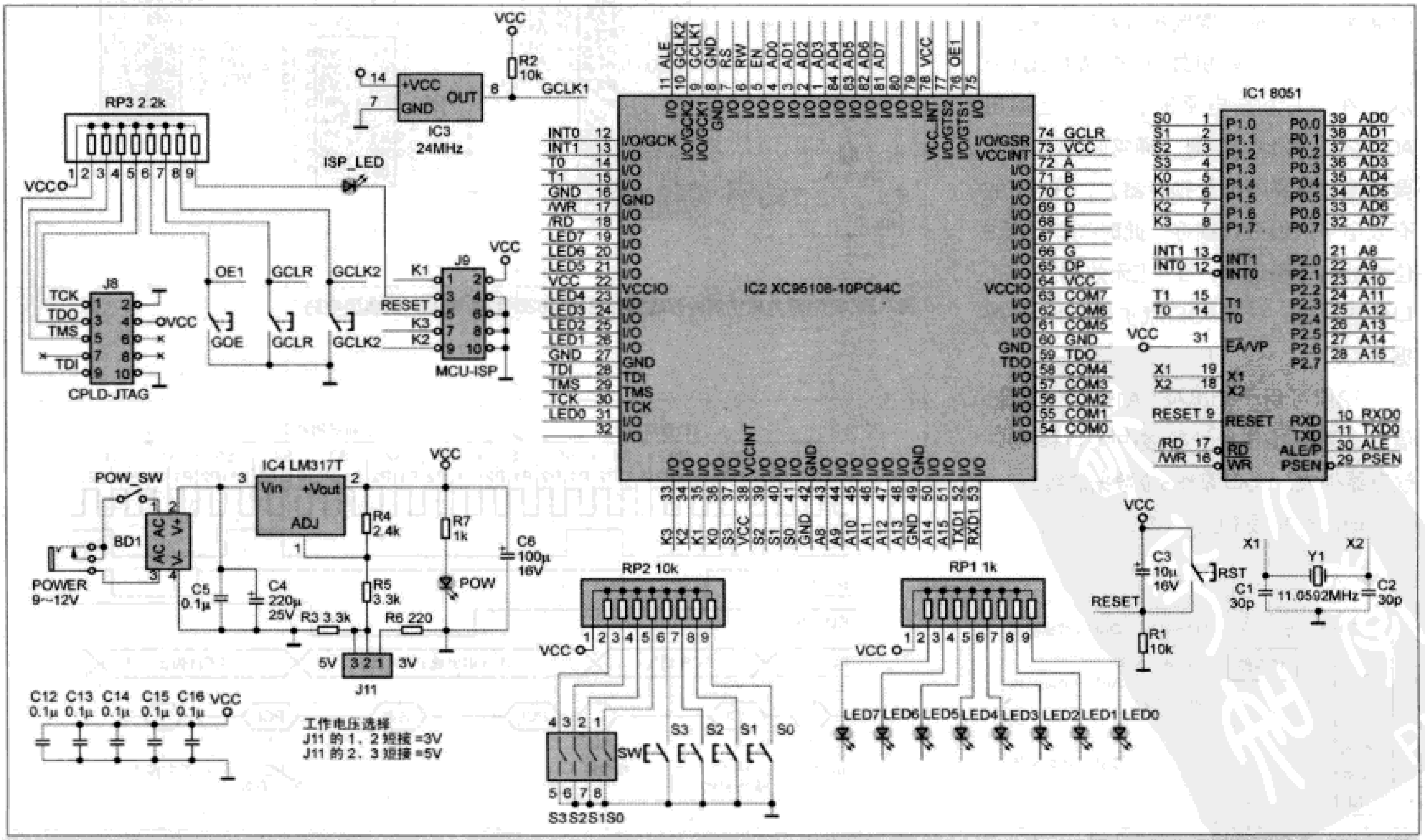


图5 51单片机与CPLD的连接组成框图

表1 CPLD引脚分配

引脚名	引脚号	输入或输出
CLK	9	输入
RD	18	输入
WR	17	输入
ALE	11	输入
KEY7	33	输入
KEY6	34	输入
KEY5	35	输入
KEY4	36	输入
KEY3	37	输入
KEY2	39	输入
KEY1	40	输入
KEY0	41	输入
LED7	19	输出
LED6	20	输出
LED5	21	输出
LED4	23	输出
LED3	24	输出
LED2	25	输出
LED1	26	输出
LED0	31	输出
DATA_PORT 7	81	输入输出
DATA_PORT 6	82	输入输出
DATA_PORT 5	83	输入输出
DATA_PORT 4	84	输入输出
DATA_PORT 3	1	输入输出
DATA_PORT 2	2	输入输出
DATA_PORT 1	3	输入输出
DATA_PORT 0	4	输入输出

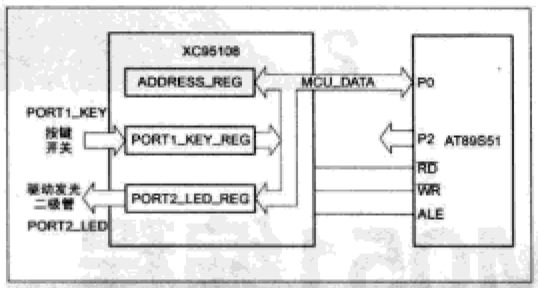


图6 51单片机与CPLD的具体连接电路

令对外部器件进行读写操作时，P0口上将分时出现低8位地址与数据信号。当P0口出现低8位地址信号时，在ALE脉冲的下降沿，将低8位地址打入CPLD内的ADDRESS_REG寄存器，我们可以进行实验定义：当低8位地址为00000000时，CPLD读取外接按键开关的状态到内部的KEY_REG寄存器中，并将按键开关的状态数据送到总线上，在单片机随后发出的“/RD”脉冲下降沿，将此状态读入单片机中，当低8位地址为00000001时，单片机将数据送到总线上，在单片机随后发出的“/WR”脉冲下降沿，CPLD接收数据到其内部的LED_REG寄存器中，并驱动发光二极管进行指示。这样就完成了CPLD与单片机之间的数据高速双向传输。

CPLD程序设计

CPLD的程序采用Verilog HDL语言编写，由于长度较短，这里作一下介绍。完整的程序包可到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn上下载，CPLD程序包名为CPLD_MCU_RW，单片机程序包名为MCU_CPLD_RW。

按照如图6所示的电路，CPLD引脚分配见表1。CPLD使用Xilinx公司的集成开发软件ISE9.1i进行设计，器件编译通过后，可根据需要进行仿真。最后将CPLD_MCU_RW .jed文件下载到XC95108芯片中。

单片机程序设计

单片机的程序采用C语言编写，使用Keil C51集成开发软件进行编译。

■ 相关程序请到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载。

程序：CPLD_MCU_RW.v

```
module CPLD_MCU_RW(DATA_PORT,RD,WR,ALE,KEY,LED);
inout[7:0] DATA_PORT;//定义输入端口（8位数据/地址总线）
input RD;//定义输入端口（读控制端）
input WR;//定义输入端口（写控制端）
input ALE;//定义输入端口（地址锁存控制端）
input[7:0] KEY;//定义输入端口（按键输入端）
output[7:0] LED;//定义输出端口（发光管输出端）
//-----------------------------------
reg[7:0]ADDRESS_REG;//定义ADDRESS _REG为寄存器类型的8位变量
reg[7:0]KEY_REG;//定义KEY_REG为寄存器类型的8位变量
reg[7:0]LED_REG;//定义LED_REG为寄存器类型的8位变量
//-----------------------------------
always@(negedge ALE)//每当ALE产生下降沿时
begin
ADDRESS_REG=DATA_PORT;//将总线上的低8位地址锁入ADDRESS_REG
寄存器
end
//-----------------------------------
always@(negedge RD)//每当RD产生下降沿时
begin
  if(ADDRESS_REG ==8' b00000000) //如果地址为00000000
KEY_REG=KEY;//读取按键开关的状态
else
//否则
KEY_REG=8' bzzzzzzzz;// KEY_REG寄存器置高阻
end
//-----------------------------------
always@(negedge WR)//每当WR产生下降沿时
begin
if(ADDRESS_REG ==8' b00000001)//如果地址为00000001
LED_REG= DATA_PORT;//读取总线的数据并点亮发光二极管
end
//-----------------------------------
assign DATA_PORT =RD? 8' bzzzzzzzz:KEY_REG;
//持续赋值语句
assign LED=LED_REG;//持续赋值语句
//-----------------------------------
endmodule
```

用M051入门ARM 2

◇卫小耆

用CoIDE对M051编程

本刊2012年第1期在《单片机爱好者入门ARM的又一种选择——M051》一文中对M051的硬件进行了简单介绍，这次就谈谈M051的编程。

因为现在仍未涉及操作系统，我们只是把它当做32位单片机来用，因此主要编程方法还是有些类似于8位单片机的编程。

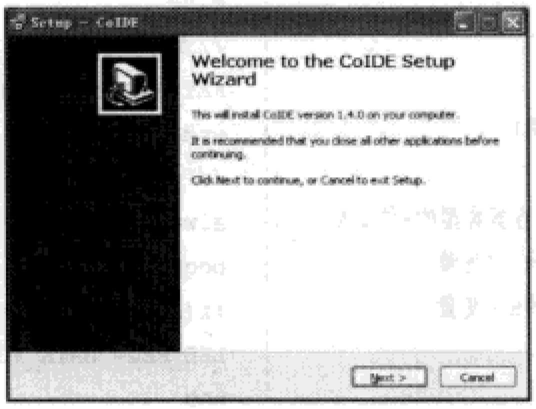
编程工具

目前支持M051的编程平台有大家熟悉的KEIL 4(ARM版)，IAR的IWARM，它们的评估版可以到官方网站下载。除了32KB程序长度限制外，其他功能均不加限制，而且有很多各方面应用的程序实例。初学者最好从实例入手，但目前这些实例一般都比较复杂，像以前的针对M052_TINY板的入门程序在官方网站上是找不到了，这样就给初学者带来了困难。为此，我们可以使用国内由CooCox开发团队开发的免费开源编程工具CoIDE，其最新版本是1.4.0版。它和KEIL、IAR一样，也集成了编辑、编译、调试、下载功能，无需借助其他下载软件，使用起来非常方便。它支持新唐、恩智浦、ST、Atmel等厂商的数百种芯片，更加难得的是，它具有出色的导航功能，很容易上手，对初学者入门来说十分理想。下面着重说明CoIDE的安装和使用方法。

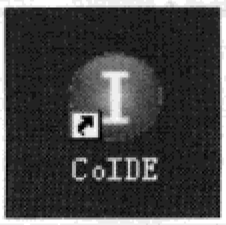
CoIDE 1.4.0的安装

如果仅仅要用CoIDE而不用其他工具，需要下载两个压缩文件。首先打开网页www.coocox.org/cn/CooCox_CoIDE.html，在它下方先通过“直接下载”链接去下载CoIDE 1.4.0的安装文件CoIDE-1.4.0.exe，有88.2MB。另一个需要打开相关网页www.coocox.org/cn/CoIDE/Compiler_Settings.html下载：在开始的“编译器设置”中点击“CooCox编译的GCC工具链”去下载工具链压缩包arm-2011.03-coocox.rar，有27.9MB。下载完成后，将工具链压缩包解压到某一目录，例如E:\CooCox，得到E:\CooCox\arm-2011.03-coocox文件夹以及几个次级文件夹、文件。

01 运行安装文件CoIDE-1.4.0.exe，弹出安装准备对话框。点击“Next”选定安装路径，如E:\CooCox\CoIDE，再一路点击“Next”确定，直到点击“Install”开始安装。

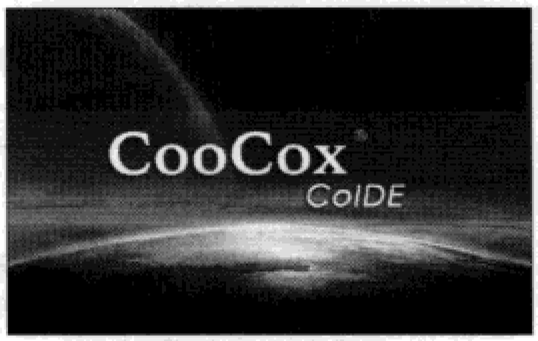


02 最后桌面出现图标，点击对话框的“Finish”，安装完成。



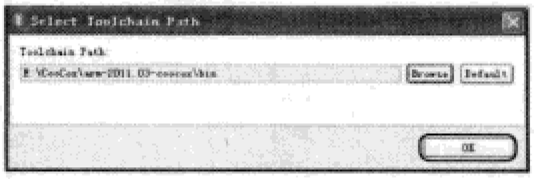
CoIDE 1.4.0的使用简介

01 在使用前，还要使用超级文本编辑器软件，例如Uedit32，打开E:\CooCox\CoIDE\Config\Device\Nuvoton\M0516LAN.XML文件，把其中的M0516LAN改为M0516LBN，然后把修改后的文件在原来目录另存为M0516LBN.XML（一次性的，为的是消除一个Bug）。现在，双击CoIDE图标，打开编程工具，先出现的是启动画面。

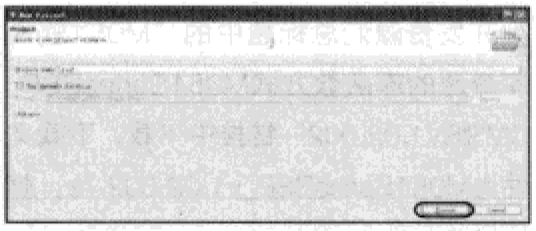


02 然后出现编程平台，里面划分为几个区域。其中组件区将会列出项目所需的组件；项目区会列出项目所有的相关文件，该加入什么和项目选取什么功能有关，由CoIDE自动加入；资源区会列出项目的可选资源及编辑框等。

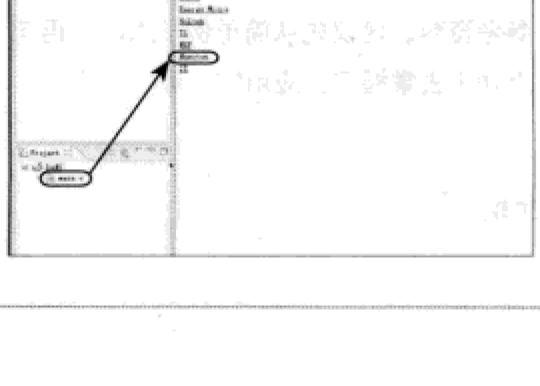
03 首先要做的是添加工具链：下拉Project菜单，选中“Select Toolchain Path”项，在弹出菜单的文本框内填入刚才解压的部分工具链路径，如E:\CooCox\CoIDE\arm-2011.03-coocox\bin，在此文件夹中包含arm-none-eabi-gcc.exe可执行文件，点击“OK”，工具链添加完成（也是一次性的）。下面就可以编程了。



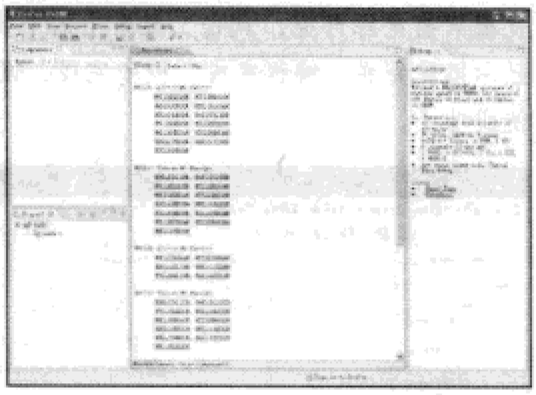
04 我们针对最简单的M052_TINY小开发板上的LED闪光来编程，这个LED 阳极通过10kΩ电阻接到电源正极，阴极接到M0516的引脚13（pin13），其接口编号是P3.6。当P3.6处于高电位时，LED灭；反之，LED亮。让P3.6交替处于高低电位，LED就闪光。进入编程界面后,首先下拉Project菜单，选择“New Project”新建项目，会弹出对话框，填入项目名称“led1”，采用默认路径保存项目，点击“Finsh”后，进入下一步。



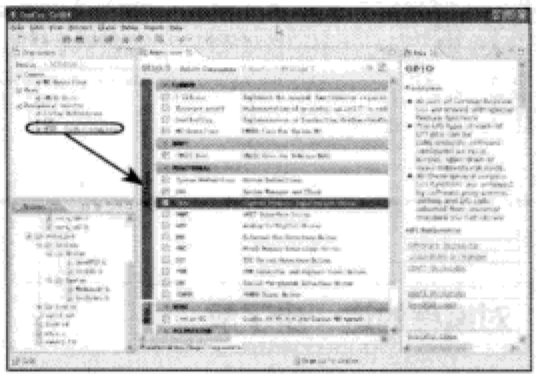
05 可以看到在项目区已经有了项目文件夹“led1”,然后在STEP1中选定厂商。对于M0516，点选“Nuvoton”（新唐）。



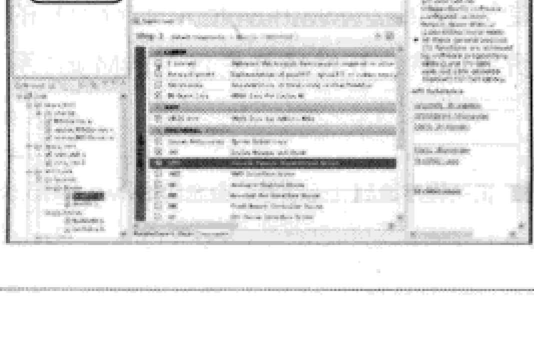
06 点选后，它会转入STEP2选定芯片，这里点选“M0516LAN”。



07 STEP3选择组件：这里仅仅勾选通用IO口（GPIO），稍等片刻，会发现CoIDE自动勾选了许多必要的选项，在Copmonents和Project区都显示出相关的文件。这么多东西如果要自己一个个添加，还真不知该如何着手呢。



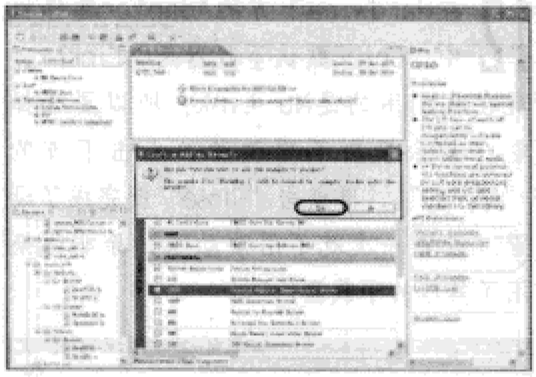
08 点击Project区中的“main.c”，可以在右边打开编辑器编辑它，现在main函数是空的，为了驱动LED，正好在Components区的GPIO组件中有实例可以利用，办法是点击GPIO (with 2 examples)，中上部出现Examples选择区，上面的是“BlikExp”，可点击“view”阅读代码或点击“add”是把代码加到项目中，这里点击“add”。



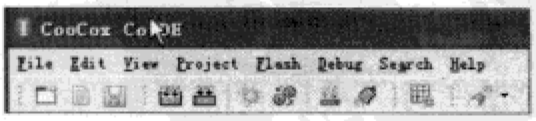
09 这时会弹出对话框，询问是否把BlinkExp.c放进example文件夹，点击“Yes”，主函数会自动变为：

```
int main(void0
{
 BlinkExp();
 While (1)
   {
   }
 }
```

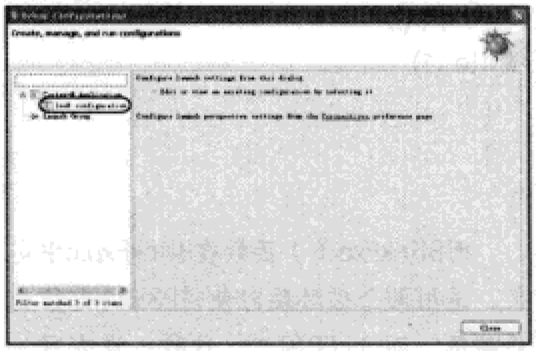
而BlinkExp（）函数在BlinkExp.c中定义，是用两个循环延时使得P3.6的电位交替高低，而让LED闪光。这样，没有写一行代码就把这个程序编好了，真是傻瓜式编程！



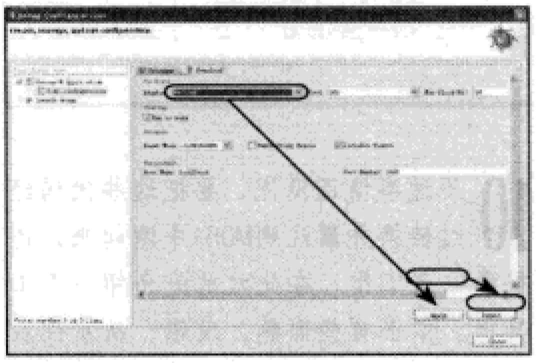
10 不过事情还没完，要把这些代码经过转换并灌注到M051中跑起来，还得做一点工作。在此之前先介绍一下工具栏。似乎有些面熟，没错，从左往右的新建项目、新建文件、文件存盘、编译链接、全部重新编译连接，这都是单片机C编程中常用的。接下来，小甲虫图标的功能是调试，就是进入M051芯片内部去读寄存器或设置断点运行等；两个小齿轮图标的功能是调试下载器设置；绿色横杠图标的功能是下载程序到芯片；再下一个刷子图标的功能是对芯片进行全部擦除。



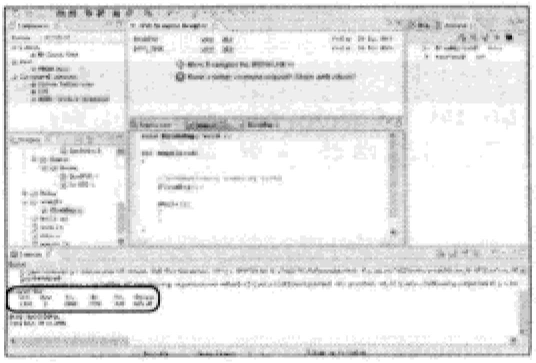
11 下面先设置调试下载器，因为CoIDE支持多种下载器以及下载方式，所以要先设置一下。点击小齿轮图标，打开页面，再点击左边我们的项目“led1.configuration”。



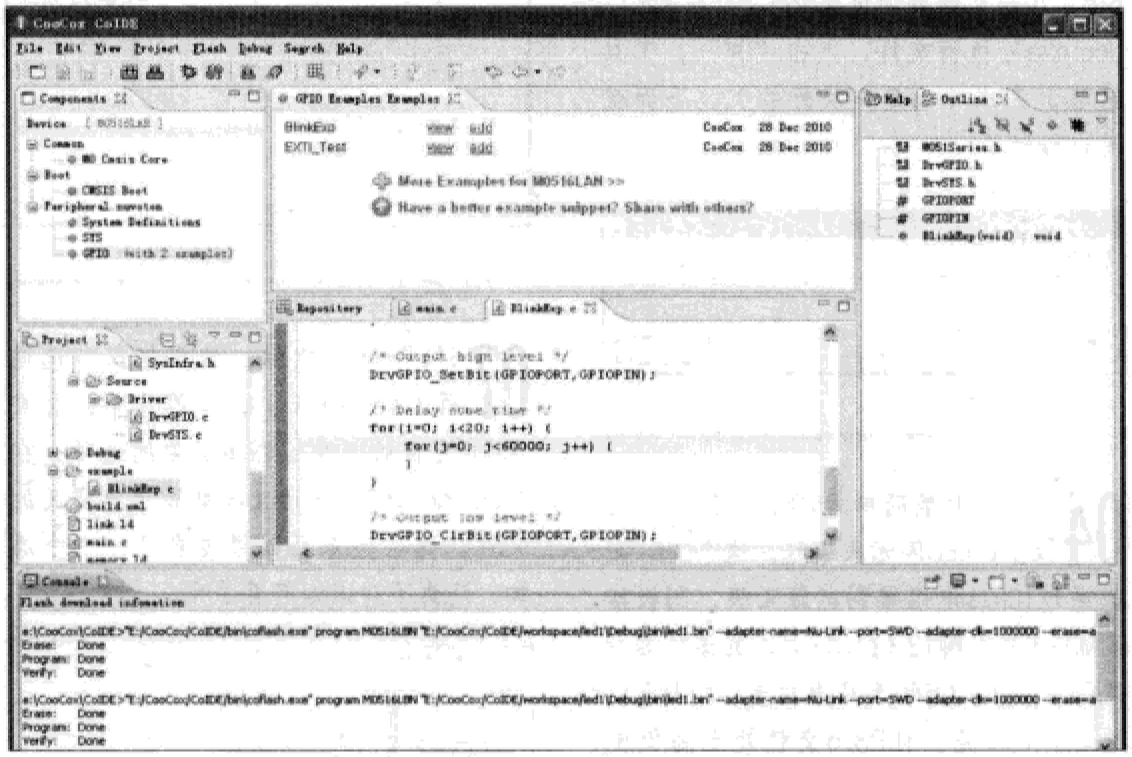
12 在Hardwire下方的Adaptor选择框中，CoIDE默认下载器是CoLinkEx，现在我们用的是Nu-Link，所以要选择它，其余设置不需改动，点击下方的“Applay”，再点击“Close”就完成了设置。设置一次就不用改动了，除非你换用了其他的下载器。



13 接下来就是进行程序的编译链接，点击前述编译链接图标，在下方的编译信息区内会滚动一行行信息，稍等片刻，便成功了。可以看到编译后的可执行文件为led1.elf，有2KB多。



14 最后就是下载程序了，先检查下载小板上的电源选择是否在5V，如果不是，则要选到5V。把USB线插入电脑和下载器，下载器4个灯亮一遍后只剩一个灯亮，小开发板只有电源灯亮，点击工具条上的下载图标，在下方下载信息区内出现下载信息，显示擦除完成、编程完成、校验完成，M052_TINY开发板上的小红灯也开始闪亮起来，便成功了。



对编程的进一步了解

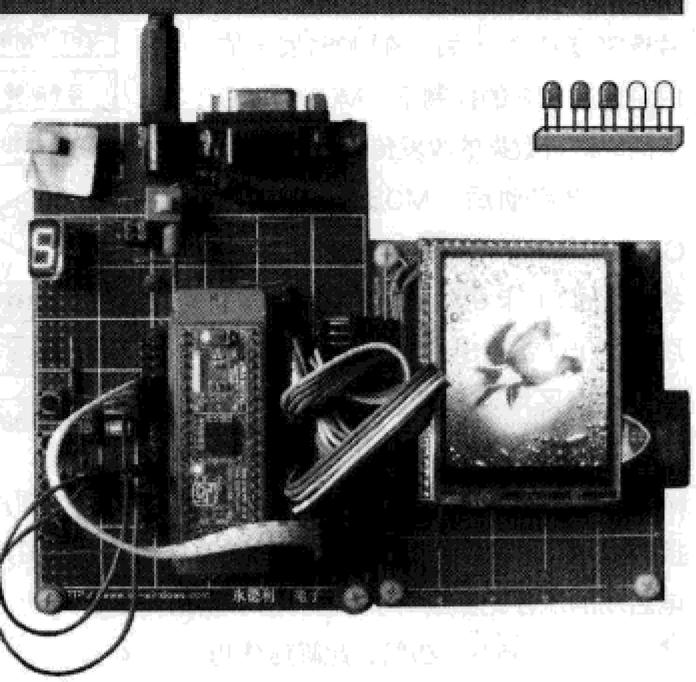
如果所有程序仅靠鼠标点几下就太简单了，固然也可以如同51单片机那样用直接写寄存器的方法编程，可是面对那么多的32位寄存器，实在是难以下手。现在的CoIDE编程，是使用CMSIS（Cortex Microcontroller Software Interface Standard，由ARM和芯片厂制定的软件接口标准）库函数方法，在CMSIS函数库里面有涉及芯片全部功能的所有基本函数，这些函数及某些宏定义，可在NuMicro M051 Series Driver Reference Guide中找到。该资料可在新唐M0论坛“牛卧堂”（http://www.nuvoton-m0.com）的资源导航、开发经验栏目下的M051系列开发资源汇总标题中的“M051软件库资源的库函数方式M051SeriesBSP_CMSISV1.02.002”链接中下载，下载文件为M051SeriesBSP_v1.02.002.7z。解压后的文件夹“M051SeriesBSP\Doc\”下的NuMicro M051Series Driver Reference Guide有chm和pdf两种格式，内容一样，参考一种即可。该资料集中了M051所有的驱动（有SYS、UART、TIMER、GPIO、ADC、SPI、I2C、PWM、FMC、EBI共10个方面），每个又包含介绍、性能、形式定义、宏、库函数的详细内容，是必须的参考资料。建议先从简单例子入门，再花点功夫去掌握它、应用它。

■ 相关程序请到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载。

用M051入门ARM 3

◇卫小鲁

M051的一个应用实例——简易数码相框



前两次分别介绍了M051的硬件和CoIDE编程工具，这次就以一个简易数码相框为例，进一步说明M051的应用。

硬件构成

这个简易数码相框由带M051处理器M058LAN的DIP40小板、自制简易开发板、320×240 TFT液晶显示模块、2GB容量SD卡，以及为了插装液晶方便而自制的转接板等几部分构成，组装好的实物及显示效果见题图，拆散成模块的样子见图1，可见没有几样东西，硬件制作难度很小。

基本原理

这个简易数码相框的基本原理是：在2GB容量SD卡上存放着bin格式图片文件（没有文件头的纯二进制文件），经由SD卡和M051的SPI高速串行通信把按扇区（512字节）读出的图片文件数据存放在M051的显示缓冲区，再用对TFT液晶屏的写屏程序把图像数据在TFT屏上显示出来。16位的TFT液晶屏，每个像素需要用16位，即两个字节表示，所以微控制器的处理速度要快，否则刷新图片的时间就会很长。

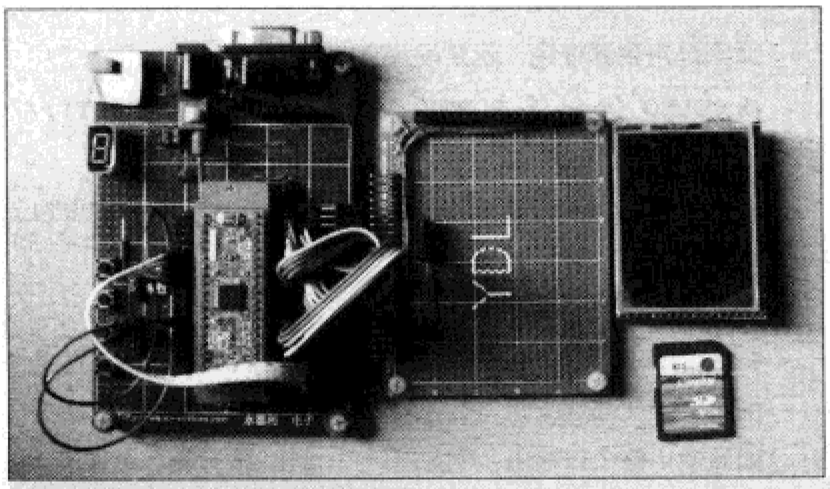


图1 组成简易数码相框的功能模块

电路原理见图2，其中，320240TFT-MOD为320×240TFT液晶模块，它的显示屏为ILI9325，其工作电压为3.3V，厂家为了方便用户，在模块底板上安装了5V-3.3V降压电路、双向驱动电路以及SD卡插口。液晶部分的引出插针和12864排列兼容，而且可以直接使用5V电源。

由图2中可见，液晶屏的数据线接到M051的P0口，因为从M051往液晶屏写数据是按8位进行的，完整的16位数据需要写两次。TFT控制线接到P2口，SD卡和M051的SPI通信就接到M051的SPI口（P1口的第二功能），注意M051在SPI通信中作为主机，SD卡作为从机，M051的串行输出端MOSI接到SD卡的输入端MISO

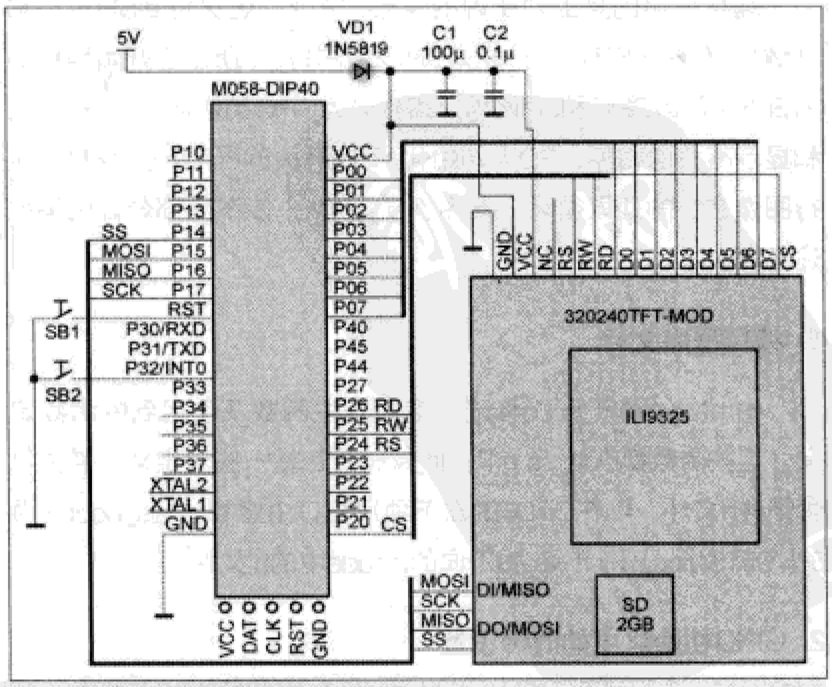


图2 简易数码相框电路原理图

（或DI），M051的串行输入端MISO接到SD卡的输出端MOSI（DO），在片选SS选中SD卡后，在M051发出的时钟脉冲SCK的控制下，MO51和SD卡同时进行数据的收发传输。

上电启动后，M051首先进行GPIO初始化，接着进行TFT液晶屏初始化和SD卡初始化。初始化完成后，M051就用SD卡的“读块”命令逐个扇区地读出SD卡图片文件，然后写到液晶屏上显示出来。通过M051的外中断INT0按键编程配合，使得显示完一幅图片后，可以接着显示下一幅，也可以等待INT0按键启动下一幅图片显示。上电启动的流程见图3，两次刷屏指示初始化是否成功，有助于调试。VD1是肖特基二极管，起降压作用。

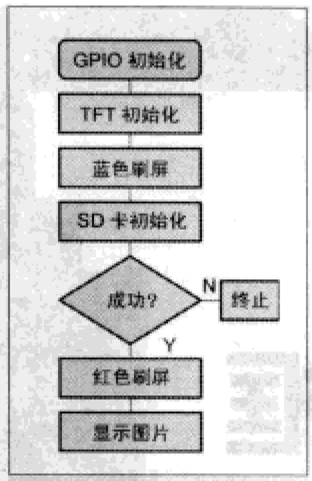


图3 相框启动的流程图

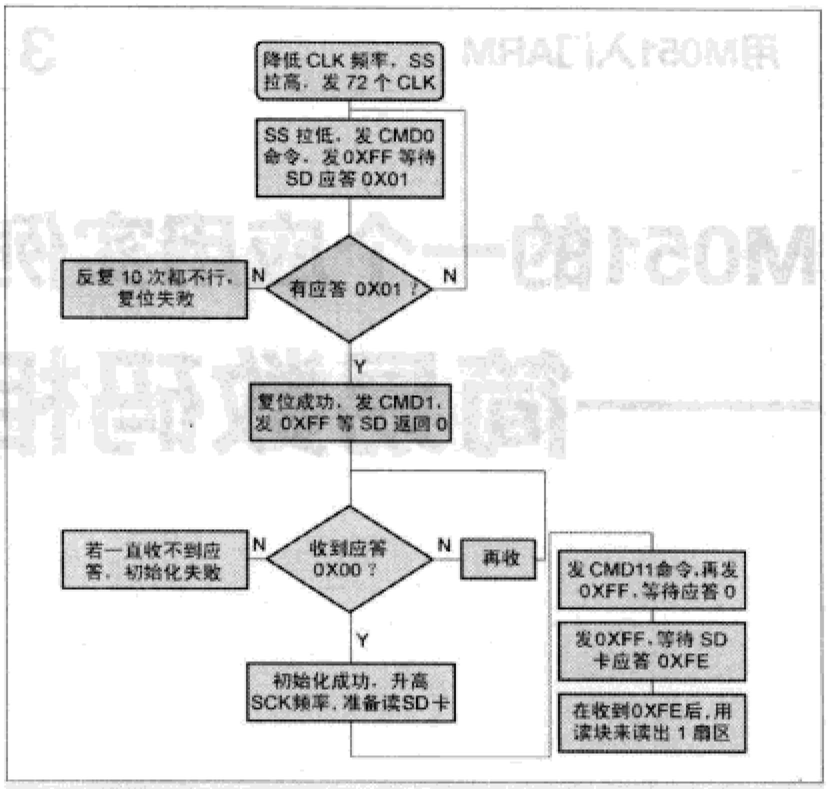


图4 程序流程图

制作

自制的M051接口板详见《无线电》今年第1期，这里不再重复，为了便于安装液晶模块，用一块9cm×7cm的万用板制作了一个液晶接口卡，在它的左边焊上一条弯插针，以便插到M051接口板上。在液晶接口卡的上方、左方和TFT液晶模块插针对应的位置焊上18孔和4孔单排插针座（可从适当长度的插针座上截取），按照原理图用0.2mm绝缘导线把插针座的焊点引到弯插针焊点上。弯插针对应的M051接口板插针座通过杜邦线连接到M051-DIP40的对应引脚上。要点是接线不能有差错。为了保持平稳，在液晶接口板的四角固定上适当高度的垫柱。

编程

编程使用的是上期所说的CoIDE平台，这次用到SPI口SPI0（M051有两个SPI口，分别是SPI0和SPI1），所以在开始编程的STEP3要勾选GPIO和SPI两项。编程分为GPIO初始化、TFT初始化和显示有关的程序、SD卡初始化和SPI有关的程序，主函数中执行图像文件的读取循环。程序流程见图4，以下分部分说明编程注意点。

1. 编辑程序文件

由main.c和tft_sd.c构成，前者是主函数及使用到的函数定义，这些函数都在tft_sd.c中。tft_sd.c还包括一些宏定义，需要包含哪些h文件，可在CoIDE的左下项目窗口中查看cmsis_boot下面的M051Series.h和cmsis_lib下面的include中的h 文件。

2. GPIO初始化中的时钟设置

M051为了适应不同的接口工作，内部的时钟系统比51单片机复杂得多，它带有内部22MHz 精密RC振荡器，如果需要也可使用外部12MHz石英晶体振荡器，这时需要加上语句：

```
UNLOCKREG();//解锁系统控制寄存器
SYSCLK->PWRCON.XTL12M_EN = 1;//指定外部12MHz晶体振荡器
while (DrvSYS_GetChipClockSourceStatus(E_SYS_XTL12M) != 1);//等待时钟稳定
LOCKREG();//闭锁系统控制寄存器
```

如果需要使用PLL锁相环提升系统时钟频率，则在初始化开始时就要使用SYS驱动有关库函数，例如：

DrvSYS_SelectPLLSource(E_SYS_EXTERNAL_12M);;//使用外部12MHz晶体振荡器作为PLL振荡源，以后就能通过DrvSYS_Open(28000000)把系统时钟提升到28MHz。

3. GPIO初始化的口线设置

原则是用到哪根线，就要设置它：

```
DrvGPIO_Open(E_PORT2, PIN_3, E_IO_OUTPUT);//P2口3脚为输出脚
DrvGPIO_Open(E_PORT3, PIN_2, E_IO_INPUT);//P3口2脚为输入脚
```

以后就可以控制输出脚的高低电平：

```
DrvGPIO_SetBit(E_PORT2, PIN_3);//P2口3脚高电平
DrvGPIO_ClrBit(E_PORT2, PIN_3);//P2口3脚低电平
```

如果使用整个口输出，例如在P0口输出8位数据，就要有：

```
DrvGPIO_SetPortBits(E_PORT0, 0x0F);//P0口输出
```

0X0F

4. TFT液晶模块的编程

这个比较简单，写命令和写数据都是把16位数据先高后低地写入。其他功能就参照C51编程即可。

5. SPI功能

这里使用到M051的硬件SPI功能，通过它向SD卡发送命令和接收数据。首先是对M051的SPI口进行设置，用到以下库函数：

DrvGPIO_InitFunction (E_FUNC_SPI0);//打开GPIO的SPI0口

DrvSPI_Open(eDRVSPI_PORT0, eDRVSPI_MASTER, eDRVSPI_TYPE5, 32);//参数意义：第一项是SPI0，第二项是主机，第三项是传输模式为5，即CLK高空闲，CLK下降沿主机、从机把数据送到MOSI和MISO线上，CLK上升沿主机和从机锁存现有的数据，第四项32指的是一次可以传输32位数据（以后还可以改变传输长度）

然后使用以下库函数：

DrvSPI_SetEndian(eDRVSPI_PORT0, eDRVSPI_MSB_FIRST);//传输按大端先发

DrvSPI_DisableAutoSS(eDRVSPI_PORT0);//不使用自动片选从机

DrvSPI_SetSlaveSelectActiveLevel(eDRVSPI_PORT0,eDRVSPI_ACTIVE_LOW_FALLING);//选择从机片选是低电平有效，这样在以后M051片选SD卡时DrvSetSS(eDRVSPI_PORT0)，即设置片选信号SS的实际电平为低。

然后读写从机，即SD卡，使用的基本库函数是：

图5 用WinHex实测SD卡第一幅图片的第一个物理扇区地址

DrvSPI_SetBitLength(eDRVSPI_PORT0, 8);//M051每次传送1字节（8位）

DrvSPI_SingleWrite(eDRVSPI_PORT0, &txdata);//向从机写1个字节，txdata为32位缓存器，待发送的数据（如0XFF）事先放在其中：uint32_t txdata=0XFF;

while (DrvSPI_IsBusy(eDRVSPI_PORT0)); //等待数据发送完毕

在SPI传输中，主机向从机发送数据的同时，主机也在同步接收从机发来的数据，所以M051要读SD卡1字节时，可以先用以上写1字节方法，然后用以下函数读出M051接收到的字节，并把该字节放在32位缓存器rxbuff中：

DrvSPI_DumpRxRegister(eDRVSPI_PORT0,&rxbuff, 1);

6. 操作SD卡

2GB以下的SD卡，是通过M051发送6字节长度的命令CMD进行的，命令格式为1字节命令代号、4字节命令参数、1字节CRC校验码。因为我们使用的SPI写从机的库函数，一次传输的位数可以改变，对于发送这样的命令，先设传输长度为8位，写命令代号，再设传输位数为32位，写参数，再设传输长度为8位，写CRC。不需要8位单片机把4个字节分4次传送，简便多了。

这个制作所使用的命令有：

CMD0 复位：命令码0，代码0X00|0X40=0X40，参数0，CRC为 0X95

CMD1 初始化：命令码1，代码0X01|0X40=0X41，参数0，CRC为 0XFF

CMD17 读扇区：命令码0X11，代码0X11|0X40=0X51，参数为扇区起始物理地址，CRC为 0XFF

这些命令伴随着SPI时钟，以及判断SD卡的应答信息操作，流程详见图5。

读取一个扇区，也就是顺序读取512字节的数据，要把它们存入具有512元素的缓存数组，然后一次取两个字节写TFT屏，写满这个240×320的屏共有240×320×2=15.36KB数据，占300扇区。在一幅图像结尾和下一幅图像开头之间，有20个空白扇区。

这里有个问题：第一幅图片的第一个物理扇区地址究竟位于何处？不知道它谈何读扇区？办法就是先把SD卡插入一个USB读卡器，用FAT16格式化SD卡，再拷入*.bin二进制图像文件，然后使用软件WinHex（可从网上下载），用F9键就可得到各文件的起始地址，这个对于不同的卡是不一样的，必须实测，见图5。例如文件001.bin的起始逻辑扇区在我的SD卡上是504，物理扇区是641（图5左下方框内），物理扇区起始地址是641×512=328192。

实战1-Wire

◇席卫平

1-Wire中文译为“单总线”，是美国Dallas Semiconductor 公司开发的一种只使用一根信号线的通信协议。2001年，该公司成为美国Maxim公司的全资子公司。提起单总线，人们最熟悉的莫过于一款温度传感器——DS18B20。其实，多年来Maxim推出了大批单总线产品，覆盖多个领域，包括EEPROM存储器、温度传感器、不同协议间的接口、时间记录与实时时钟、电池检测与保护电路等。

单总线的硬件实现超级简单。你可以只用一根线（配一只上拉电阻）既传输信号又给器件供电，再加一根地线，只用两根线就可以了。你也可以用一根线（配一只上拉电阻）专职传输信号，再加电源线和地线，实现3线制的单总线布局。

图1 iButton

单总线的传输距离也不近，主要受总线分布电容和阻抗匹配的影响，一般信号线可传输50m ，如果采用双绞线带屏蔽电缆时，传输距离可达150m左右。如果采用每米绞合次数更多的双绞线，传输距离还可以加长。

每个单总线器件出厂时就被赋予了一个唯一的编码，这就解决了多个单总线器件同时存在时的寻址问题。所以，你还可以用单总线器件组网。

Dallas还开发了一款单总线衍生产品“iButton”，见图1。这是一种用不锈钢外壳封装的纽扣大小的单总线器件。由于具有独特的结构设计，它可以应用在恶劣环境下的温湿度检测和记录、电子门禁系统、电子汇兑、保安巡逻岗位检测，还有新兴的物联网等领域。

可以预见，单总线器件的应用会越来越广泛，因此它也成为现代电子爱好者不可不知的新技术。

单总线技术规范

在一根导线上传输数据信号，其秘诀就是一套指令码和严格的信号传输“时隙”（信号电平变化以及采样的时间间隔）。本文以大家比较熟悉的温度传感器DS18B20 作为实验对象，先从该器件的操作指令码入手。DS18B20的内部存储器结构见表1。

DS18B20的RAM又被称作“Scratchpad”，其中0、1两个字节存储了温度值，该值是随着每次转换采样而更新的，系统上电（初始化）时为0550h，即85℃，字节2、3为用户可以设置的温度报警上限与下限值寄存器，字节4是该器件的配置寄存器，字节5、6、7保留，上电时就是表中那几个固定值，字节8是CRC校验码。

钟表：调试

先检查硬件接线是否正确，源代码通过编译有没有问题。然后用Nu-Link-Me下载调试器和M051-DIP40板和电脑连接好，把程序下载到M051中。经过两次刷屏后，图片应该显示出来，如果图片不能显示，甚至刷屏都没有，系统时钟频率可能过高，试着在程序中把它调低些，SPI的时钟频率也不能太高。调好后再次下载运行。

运行正常后，刷新一幅图还较慢，要10多秒。这时打开CoIDE的Configeration菜单，在Custom Options的Optimation中选第3级优化“Optimation Most (-03)”，如图6所示，再次下载，可发现这次刷新一幅图片仅需5s就可以了。

图6 打开CoIDE的Configeration菜单，在Custom Options的Optimation中选“Optimation Most(-03)”

然后拆掉下载器，用外部5V电源运行。最好使用线性稳压器，不良的开关稳压适配器虽然便宜，但杂波和干扰大，有可能使M051不能正常工作。如果使用外部5V电源开机能刷屏但不显示，可能是SD卡的输出电平不够，在开发板的电源电路中串入一个肖特基二极管1N5819就可以解决问题，见图3中的VD1。

用于TFT液晶屏显示的bin图像文件，可以使用软件Image2Lcd（可从网上下载）把jpg图像转换得到，因为很容易，就不赘述了。

最后，或许你会说，数码相框用单片机就可以做，你这不是把简单的事弄复杂了吗？虽然看似复杂了点，但我们可以从中学到M051的具体应用方法，即使不够完善，但还是有益的。

EEPROM只有3个字节，保存温度报警的上、下限和器件配置数据，并可与RAM对应寄存器的内容复制或回调。由于这3个寄存器的内容是非易失的，所以上电后，系统可以恢复以前的状态。

了解了DS18B20的存储结构，我们可以去认识其指令码。大部分教科书都将这些指令码分为两组——ROM 操作指令和 RAM (Scratchpad)组，读者可以通过DS18B20的手册获得详细的说明。而笔者则更希望通过循序渐进的方式，借助应用实例来讲解这些指令。在应用中，单总线指令的使用不是随机的，而是遵循一定的顺序或模式，我大致将其划分为单器件操作简单模式和多器件的多点巡视复杂模式。此次，笔者向大家介绍的是只有一个器件的简单入门实验，所以，实验中的指令发送顺序就是单器件简单操作模式。

表2给出了单器件简单操作模式的指令发送和总线操作的顺序。每读取一次温度值都要重复以上操作。而且，我们只需要记住3条指令就可以了，事情变得简单了许多。

表1 DS18B20的内部存储器结构

字节	RAM	EEPROM
0	温度低字节（50h）	
1	温度高字节（05h）	
2	温度报警上限字节	温度报警上限字节
3	温度报警下限字节	温度报警下限字节
4	配置寄存器	配置寄存器
5	保留（FFh）	
6	保留（0Ch）	
7	保留（10h）	
8	CRC	

表2 单器件简单操作模式的指令发送和总线操作的顺序

发送顺序	指令/操作	指令码
1	复位总线操作（检查总线状态，报错）	
2	跳过ROM操作（Skip ROM）指令	[CCh]
3	开始温度转换（Convert T）指令	[44h]
4	复位总线操作	
5	跳过ROM操作（Skip ROM）指令	[CCh]
6	读存储器操作（Read Scratchpad）指令	[BEh]
7	读温度低字节操作（RAM字节 0）	
8	读温度高字节操作（RAM字节 1）	
9	复位总线操作	

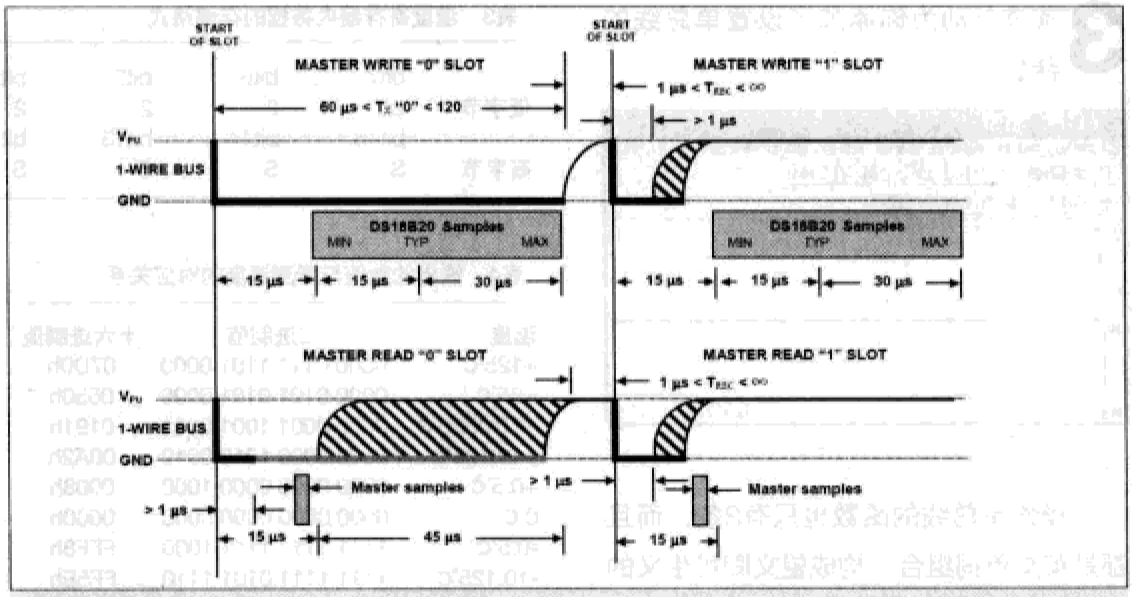


图2 单总线上的“0”、“1”表示方式

另一项需要了解的单总线技术参数就是总线上数据“0”和“1”的表示方式，见图2。该图取自DS18B20的技术手册，从图上可以看出，主设备写“0”时，首先拉低总线，15μs后，开始从DS18B20采样，采样时隙保持45μs左右。写“1”时，也是先拉低总线，15μs后释放，总线恢复高电平，开始从DS18B20采样，同样保持45μs左右的采样时隙。主设备读的时候，首先拉低总线至少保持1μs，然后释放总线并开始采样。从设备检测到总线的下降沿后，或者将总线继续保持低状态，使主设备读到一个“0”，或者将总线释放变高，让主设备读出“1”。

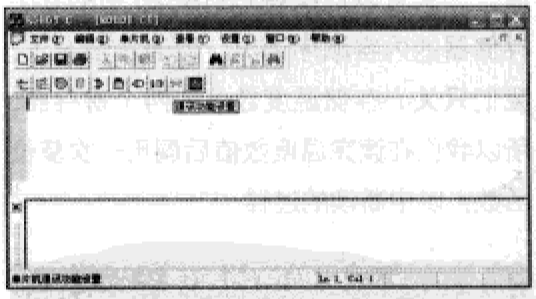
以上说明，单总线的电气操作并不复杂，但要通过单片机的一个端口，遵循严格的时隙控制一根导线上的电平高低，其汇编程序是比较烦琐的，这对初学者确实是个挑战。好在笔者编写的ROBOT C平台（可在《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载）为初学者提供了简单易操作的解决方案，你只要完成几个简单的对话框，输入几条自解释的函数语句，一个精准的温度检测功能就加入到你的DIY创作中了。

单总线编程

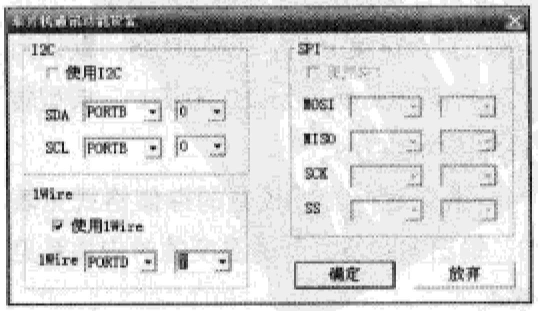
虽然这是一个简单的温度传感器应用实验，但细分起来，程序要完成3项基本任务：温度数值的获取、温度数值的解读和温度数值的显示。

温度数值的获取

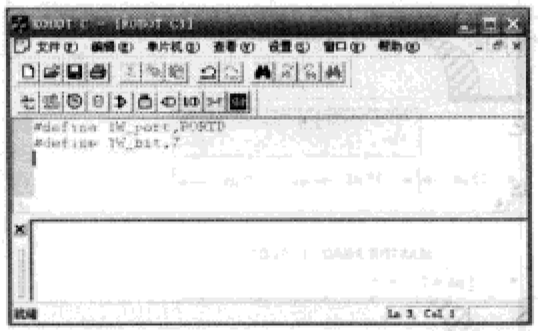
1 首先是温度数值的获取。这个任务比较简单，参照笔者在第3期的文章《实战I²C》的做法，点击“单片机通信功能设置”按钮，会弹出对话框。



2 接下来勾选“使用1Wire”选项，并选择单片机的端口D 和引脚 7作为单总线的端口，再点击“确定”。



3 系统自动为你添加了设置单总线的参数。



操作单总线的函数也只有3条，而且都是英文单词组合，构成望文即可生义的自解释语句。

（1）Reset_1wire：复位单总线函数。该函数没有输入参数，但其输出可以判断总线的工作状态，如果一切良好，输出为“0”，否则输出将不为“0”。一般是在一次温度转换过程的开始检测一下，如果没错则继续，否则报错。

（2）Write_1wire：单总线写字节函数。该函数的输入参数为一个字节型的数据，可以是发给从设备的指令，也可以是要写入从设备的数据。

（3）Read_1wire：单总线读字节函数。这个函数一般都是跟在读存储器指令的后面，一次可以连续将DS18B20中的9个存储器的内容顺序读出。但通常情况下，我们只关心存储温度数值的两个寄存器，所以我们在读完温度数值后调用一次复位函数，以中断读的过程。

温度数值的解读

接下来的任务是温度数值的解读。DS18B20给我们的温度数值不是直观的十进制数，而是一个十六位带符号位扩展的二进制补码数，其中高5位是符号位，后11位为有效数值，可测温度范围是－55~+125℃，精度分为9~12位几挡，默认为12位，温度分辨率为±0.0625℃，典型转换时间为200ms。

温度寄存器内数据的存储格式见表3，输出的数值与所测温度的对应关系见表4。

表3 温度寄存器内数据的存储格式

	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
低字节	2^3	2^2	2^1	2^0	2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}	2^{-4}
	bit15	bit14	bit13	bit12	bit11	bit10	bit9	bit8
高字节	S	S	S	S	S	2^6	2^5	2^4

表4 输出的数值与所测温度的对应关系

温度	二进制值	十六进制值
+125°C	0000 0111 1101 0000	07D0h
+85°C	0000 0101 0101 0000	0550h
+25.0625°C	0000 0001 1001 0001	0191h
+10.125°C	0000 0000 1010 0010	00A2h
+0.5°C	0000 0000 0000 1000	0008h
0°C	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.5°C	1111 1111 1111 1000	FFF8h
-10.125°C	1111 1111 0101 1110	FF5Eh
-25.0625°C	1111 1110 0110 1111	FE6Fh
-55°C	1111 1100 1001 0000	FC90h

通常的做法是将得到的数值直接乘0.0625就得出了带小数的温度值。比如在ICC的开发环境下或是Keil的UV2。但是由于涉及浮点数的乘法，汇编代码较长，ATmega48的4KB内存就显得不够用了。换用ATmega168或是ATmega328，问题似乎迎刃而解，但这不应是DIY玩家的思路。首先，业余爱好者往往没有那么“奢侈”的经费，最重要的是开动脑筋，通过设计巧妙的算法，最大限度地利用手头资源完成同样的任务，才是玩家的最高境界。

我们可以将表4的数据分为4个十六进制数区段：符号段、二段、一段、小数段，每个段的取值范围都是0~15（0h~Fh）。除符号段外，有效数值可用以下公式来表示：T＝（二段值）×16＋（一段值）×1＋（小数段）×0.0625。

例如00A2h代入上式可以得到：0×16＋10×1＋2×0.0625=10.125，而FE6Fh根据二进制补码规则（取反加1），该负数的补码表示为0191h，代入公式得：-1×(1×16＋9×1＋1×0.0625)=-25.0625。

大家知道，计算机只有有了程序才能帮助人们解决问题。什么是程序？程序就是数据加算法。

数据是对现实世界的描述，可以是一个公式、一组表格或是一个图表。围绕数据设计算法，我们就得到一个程序。合理恰当地选用数据的表现形式，能大大简化算法，进而优化整个系统。具体拿我们这个问题分析，我们发现完全可以用查表的方式替代浮点运算，既加快了运算速度，又节省了硬件资源。对表格的处理我们首先想到数组。本例确实可以用数组来完成，但出于练习的目的，我使用了单片机的EEPROM，利用非易失存储器存储表格，用相对简单的查表算法替代复杂的运算。就是在专业工程中，这也不失为有效的设计方案。

表5

	十六进制数	一段	二段	小数点
	00h	0	0	0.00
	01h	16	1	0.06
	02h	32	2	0.13
	03h	48	3	0.19
	04h	64	4	0.25
	05h	80	5	0.31
	06h	96	6	0.38
正数区	07h	112	7	0.44
	08h	0	8	0.50
	09h	0	9	0.56
	0Ah	0	10	0.63
	0Bh	0	11	0.69
	0Ch	0	12	0.75
	0Dh	0	13	0.81
	0Eh	0	14	0.88
	0Fh	0	15	0.94
	0Fh	0	0	0.06
	0Eh	16	1	0.13
	0Dh	32	2	0.19
	0Bh	48	3	0.25
	0Ch	64	4	0.31
	0Ah	80	5	0.38
	09h	96	6	0.44
负数区	08h	0	7	0.50
	07h	0	8	0.56
	06h	0	9	0.63
	05h	0	10	0.69
	04h	0	11	0.75
	03h	0	12	0.81
	02h	0	13	0.88
	01h	0	14	0.94
	00h	0	15	1.00

分析表4的数据后，我们整理得出表5。显然，各段的十六进制数值就可以用

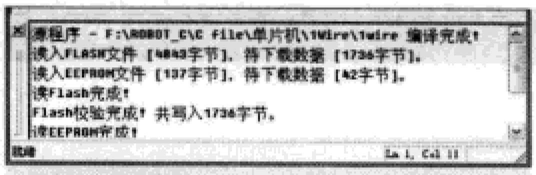


图3 完成后的提示

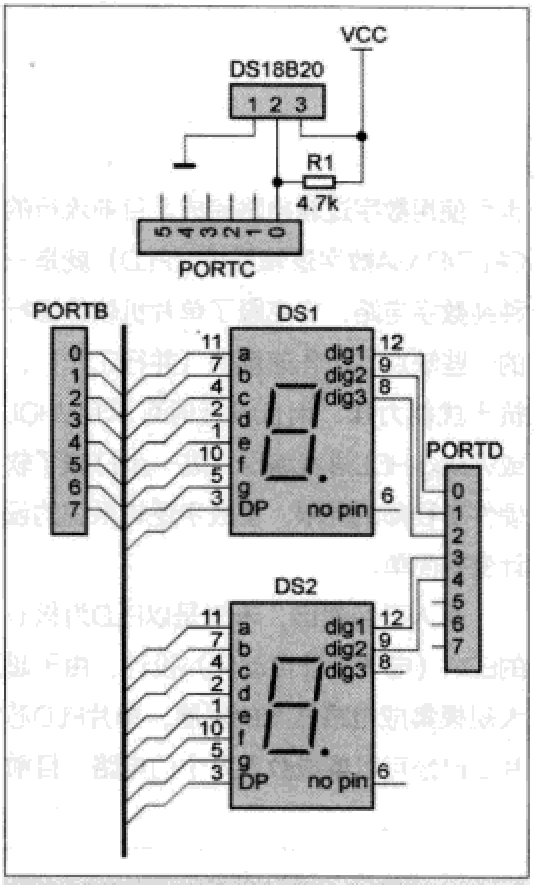


图4 实验电路图

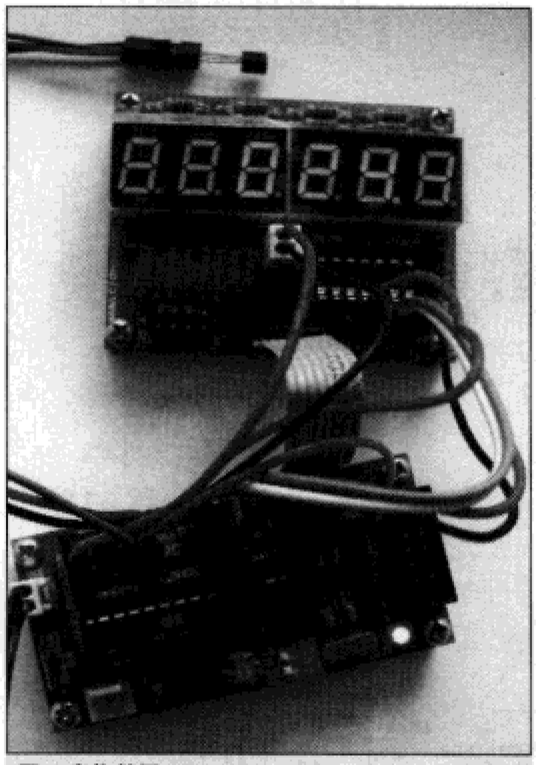


图5 实物效果

■ 相关程序请到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载。

作数组的索引值，通过检索，可以直接得到相应的十进制数值。其实这个表还可以进一步优化，根据二进制补码的定义，我们可以将正、负数两个区域合并成一个表，遇到负数时，只要加一点修正就可以了。具体做法是一段、二段的数都取补码作为索引值，而小数段除了取补外，还要再加1得到其索引值。程序中，又进一步对数组进行了加工，小数部分四舍五入，保留一位有效值，并以整数形式存储，二段去掉了8个零值。结果，整个数组就只占用41个字节（参见源程序）。

前面提到，我们要将表格数据存在ATmega48 的EEPROM里。这在ROBOT C 平台里也很容易实现，在需要存入EEPROM的数据前加上指令“#Eeprom”即可，随后是一个标号（必须的），标号后跟冒号，然后是一组由大括号 { } 括起来的数据，数据间用逗号分隔。指令“#Flash”既是 EEPROM 数据段的结束，又是Flash程序段的开始。书写时要注意大小写，否则会出现编译错误。

函数ReadEEPROM(arg1,arg2)从EEPROM中读取数据。其中参数arg1为地址，arg2存储取回数据的变量。

编译时，系统会自动识别用户加入了EEPROM数据，因而会为你生成扩展名为“eep”的文件。ROBOT C是开放的，它生成的“hex”文件和“eep”文件都是通用的，你也可以使用像AVR_fighter之类的软件下载。

温度数值的显示

最后一项任务就是显示，本实验采用数码管实现显示功能。我们决定温度数据只显示到小数点后一位，所以要显示3位整数、1位小数再加1个符号位，共需要5个数码管。硬件上，我们使用两只三联数码管就可以胜任了。

ROBOT C除了通过对话框自动为用户提供端口定义外，还有两个函数在数码管的编程中要用到。一是初始化函数init_LED8( )，要求用户将其输入到主函数的开始位置。另一个是调用函数LED8(v1,v2,v3)，参数v1是位选值，v2是字形索引值，而v3则是小数点的位置。例如：LED8(1,5,1)表示要用数码管1显示一个5字，并带小数点。而LED8(0,0,0)表示要数码管0显示数字0，而且该位没有小数点（最后一位数码管缺省就不显示小数点）。

整个程序基本上是一个顺序执行的过程，没有复杂的分支或是循环，配合语句说明，读者不难读懂整个程序。

编译与下载

关于ROBOT C的编译与下载，笔者在“实战I²C”中已有介绍，这里不再赘述。唯一不同的是，此次处理除产生“hex”文件外，还要生成“eep”文件，如果一切顺利，你能看到如图3所示的提示。

硬件搭建

本实验在硬件上并不复杂，电路如图4所示。单片机与DS18B20的连接尤为简单，但数码管显示部分接线较多，如果用面包板的话，照片会显得非常凌乱，所以笔者选用了自己开发的数码管模块，接线简便又清晰，实物效果如图5所示。

以上介绍的是一个单点的单总线实验程序，实验用的DS18B20传感器是笔者自己动手制作的，从图5可以看出连线较长，为的是便于插入冰箱去检测负温度的效果。读者也可以采用市面上的成品传感器，不过要注意其引线的排列，不同厂家的产品并不一样。

Arduino为单总线提供了专门的包含文件DallasTemperature.h和函数，不过笔者认为封装得过于“严实”，对于初学者来说，就像新兵训练，还是分解动作比较容易理解和掌握。

为了打开初学者的视野，本实验不单单介绍了单总线，还加入了数码管的应用、EEPROM文件的编写，以及如何用简单方法化解复杂问题的技巧，使一个简单实验的内容变得更丰富。

单片机开发实例及程序研究

◇周兴华

AVR单片机与CPLD之间使用SPI总线进行通信

纯单片机控制系统的设计

将从前大量使用的外围芯片和接口电路集成在新型单片机内部，从而构成一个纯单片机控制系统SoC（System on Chip），并且由于几乎所有的新型单片机都支持高级语言开发，单片机应用系统的设计变得简单而且快捷。单片机技术经过30多年的发展，已经积累了丰富的应用资料，并拥有了大量的工程技术人员，这是使用单片机控制系统的巨大优势。

但纯单片机系统由于自身原因，也存在下列不足：

1. 工作速度较低。即使是某些高速单片机，也只能工作在微秒级，这是由单片机软件串行工作的特点决定的。

2. 在某些强干扰场合，可靠性较低。虽然单片机已经采取了许多抗干扰措施（例如使用看门狗电路等），在许多应用场合解决了这些问题，但在某些情况下，瞬间的看门狗复位也会造成严重后果。

纯CPLD控制系统的设计

一个单片机控制系统，在某些情况下也可使用数字逻辑电路完成。目前流行的CPLD/FPGA数字逻辑系统（PLD）就是一种纯数字电路，它克服了单片机软件运行的一些缺点，工作速度快（并行工作）、抗干扰能力强，而且设计时可采用VHDL或Verilog-HDL语言编程，进一步打破了软硬件工程师的界限，使数字逻辑系统的设计变得简单。

有人已经提出，未来是以PLD为核心的EDA（电子设计自动化）设计。由于超大规模集成电路技术的发展，单片PLD芯片上已经可以集成数百万个门电路，目前

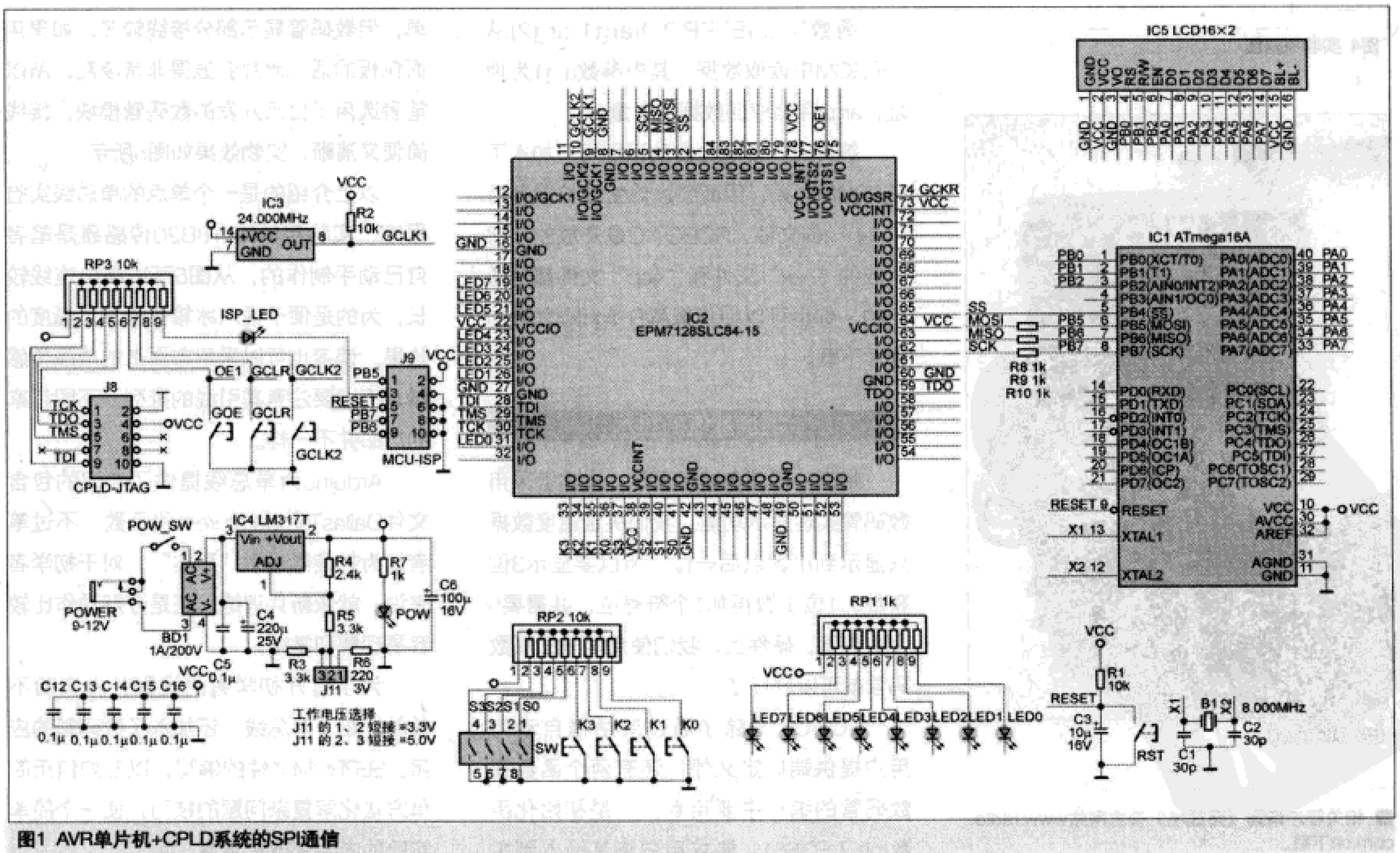


图1 AVR单片机+CPLD系统的SPI通信

可编程器件生产厂商已经以软核和硬核嵌入两种形式将单片机系统嵌入到PLD中，因此PLD器件取代单片机是迟早的事。

但是目前单纯依靠PLD器件还为时尚早，其原因如下：

1. 成本考虑。现在一个商用的廉价单片机只需1元多，而嵌入单片机软核或硬核的超大规模PLD芯片则高达几百元。有些简单系统根本不需如此昂贵的器件去实现其功能。

2. 设计的灵活性比不上单片机。由于历史的原因，设计人员对单片机及C语言的掌握和使用已经非常熟悉。而使用VHDL或Verilog-HDL设计控制系统时，由于其严格的时序要求，熟练掌握需要一定的时间积累，HDL设计语言的灵活性显然不能与单片机的C语言相提并论。

单片机与CPLD的联合设计

单片机价格低廉、设计灵活方便，而PLD工作速度快、稳定可靠，所以利用单片机和中小规模CPLD的优势进行互补（单片机+CPLD），目前是一种较好的设计选择。中小规模CPLD价格也比较便宜，在几十元之内，有些低价的只需十几元。但单片机+CPLD需要解决它们之间的通信问题，上期我们已经介绍了51单片机与CPLD之间使用并行总线进行通信，它们的通信需要占用较多的口线，下面笔者再介绍一个AVR单片机+CPLD系统的SPI通信实例，它只使用较少的口线就可实现高速通信，性价比较高，可以帮助有需要的读者使用。具体电路见图1，AVR单片机使用性价比高的ATmega16A，CPLD使用Altera公司的EPM7128。

SPI通信简介

SPI是Serial Peripheral Interface的缩写，意思是串行外围设备接口。SPI是Motorola公司推出的一种同步串行通信方式，是一种3线同步总线，因其硬件功能

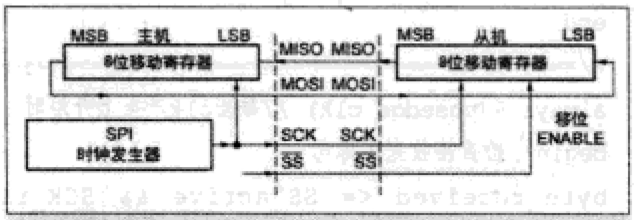


图2 SPI的通信原理

很强，与SPI有关的软件就相当简单，使CPU有更多的时间处理其他事务。

SPI通信只占用3～4个口线，收发可同步进行。SPI通信是Motorola公司首先在其MC68HCXX系列处理器上定义的。SPI接口主要应用在 EEPROM、FLASH、实时时钟、AD转换器、数字信号处理器和数字信号解码器上。它是一种高速、全双工、同步的通信总线，由于只占用芯片4根线，大大节约了芯片的管脚，同时为PCB的布局提供方便，正是出于这种简单易用的特性，现在有越来越多的芯片集成了这种通信。

SPI接口一般使用4条线：串行时钟

CPLD程序

```
module test_spi(clk, SCK, MOSI, MISO, SS, LED1, KEY1);
input clk;//24MHz晶体振荡器输入
input SCK, SS, MOSI;//SPI口线定义
output MISO;
input[7:0] KEY1;//CPLD（按键开关）输入
output[7:0] LED1;//CPLD（发光管）输出
reg [2:0] SCKr;//内部寄存器
//========================================
always @(posedge clk) //每当clk产生上升沿时
SCKr <= {SCKr[1:0], SCK}; //内部寄存器对SCK计数
//========================================
wire SCK_risingedge=(SCKr[2:1]==2'b01);//检测出SCK的上升沿
wire SCK_fallingedge=(SCKr[2:1]==2'b10);//检测出SCK的下降沿
reg [2:0] SSr;  //内部寄存器
//========================================
always @(posedge clk) //每当clk产生上升沿时
SSr <= {SSr[1:0], SS};//内部寄存器对SS计数
//========================================
wire SS_active = ~SSr[1];  //检测出SS线变化
wire SS_startmessage=(SSr[2:1]==2'b10); //检测出SS线变低
wire SS_endmessage=(SSr[2:1]==2'b01); //检测出SS线变高
reg [1:0] MOSIr; //内部寄存器
//========================================
always @(posedge clk) //每当clk产生上升沿时
MOSIr <= {MOSIr[0], MOSI};//暂存MOSI的位状态
//========================================
wire MOSI_data = MOSIr[1];
reg [2:0] bitcnt; //SPI接收或发送计数器
reg byte_received; //接收完成标志，接收一个字节完成后变高
reg [7:0] byte_data_received; //一个字节数据接收寄存器
//==============================================
always @(posedge clk)//每当clk产生上升沿时
begin
if(~SS_active)//如果SS线变化时，计数器清零
bitcnt <= 3'b000;
else
if(SCK_risingedge)//否则SCK上升沿时
begin
bitcnt <= bitcnt + 3'b001;//计数器增加
byte_data_received <= {byte_data_received[6:0], MOSI_
data}; //移位接收，高位在前
end
```

```
end
//=============================================
always @(posedge clk) //每当clk产生上升沿时
begin//检查接收完成标志
byte_received <= SS_active && SCK_risingedge &&
(bitcnt==3'b111);
end
//=============================================
reg[3:0] status;//内部状态寄存器
reg[7:0] LED1;//输出寄存器
//========================================
always @(posedge clk) //每当clk产生上升沿时
if(byte_received) //接收一个字节完成
begin
if(byte_data_received==8'h11)//如果接收的是11H
begin
sent_buff <= KEY1;//读取按键值到发送缓冲器
status <= 8'h11; //状态寄存器置11H
end
else if(byte_data_received==8'h01) //否则如果接收的是01H
status <= 8'h01; //状态寄存器置01H
else status <= 8'h00;//接收的数据不符合,/状态寄存器置00H
end
//========================================
always @(posedge clk) //每当clk产生上升沿时
if(byte_received) //接收又一个字节完成
begin
if(status== 8'h01)//如果状态寄存器为01H
LED1 <= byte_data_received;//接收的数据驱动LED1口
end
//========================================
reg [7:0] byte_data_sent; //内部发送寄存器
reg [7:0] sent_buff;//内部发送缓冲器
//========================================
always @(posedge clk)//每当clk产生上升沿时
if(SS_active)//SS线为低电平
begin
if(SS_startmessage)//如果SS线刚变低
byte_data_sent <=sent_buff;//发送缓冲器的数据送入发送寄存器
else
if(SCK_fallingedge)//否则在SCK的下降沿
begin
if(bitcnt==3'b000)//在计数器为0时
byte_data_sent <= 8'h00; //发送寄存器清零
else
byte_data_sent <= {byte_data_sent[6:0], 1'b0};//否则移位
发送
end
end
//========================================
assign MISO = byte_data_sent[7]; //高位移出
endmodule
```

线(SCK)、主机输入/从机输出数据线(MISO)、主机输出/从机输入数据线(MOSI)和低电平有效的从机选择线/SS。

SPI的通信原理见图2，它以主从方式工作，这种模式通常有一个主机和一个或多个从机，需要至少4根线。如果只进行单向传输，可以使用3根线。

其中/SS是控制从机芯片是否被选中的，也就是说，只有片选信号为预定的使能信号(高电位或低电位)时，对此芯片的操作才有效。这样允许在同一总线上连接多个SPI设备。

接下来就是负责通信的3根线了。这里首先要知道SPI是串行传输的，也就是说，数据是一位一位传输的，由SCK提供时钟脉冲，MOSI、MISO则基于此脉冲完成数据传输。数据输出通过MOSI线，数据在时钟上升沿或下降沿时改变。输入也使用同样原理。这样，在至少8次时钟信号下，就可以完成8位数据的传输。

需要注意的是，SCK信号线只由主机控制。在一个基于SPI的系统中，至少有一个主机。这样的传输方式有一个优点，与普通的串行通信不同，普通的串行通信一次连续传送至少8位数据，而SPI允许数据一位一位地传送，甚至允许暂停。因为SCK时钟线由主机控制，当没有时钟跳变时，从机可以不采集或传送数据。也就是说，主机通过对SCK时钟线的控制，可以完成对通信的控制。

SPI还是一个数据交换协议，因为SPI的数据输入和输出线独立，所以允许同时完成数据的输入和输出。不同的SPI设备的实现方式不尽相同，主要是数据改变和采集的时间不同，在时钟信号上沿或下沿采集有不同定义，具体可参考相关器件的DataSheet。

软件设计

在这个SPI通信实验中，假设我们需要主机(单片机)输出信号到从机(CPLD)驱动8个发光管，从从机(CPLD)的按键开关上读取外部信号到主机(单片机)的液晶屏显示，那么我们可以定义从机8个发光管的地址为0x01，定义从机按键开关的地址为0x11。

1. CPLD程序设计

CPLD采用Verilog-HDL语言编写，程序比较短小，文件名为test_spi.v。

单片机程序

```
void SPI_MasterTransmit(uchar Address,uchar Data)//SPI主机发送子函数
{
 uchar clear;//定义局部变量
 CLR_BIT(PORTB,SS);//使能SPI从器件
  SPDR=Address;//发送地址
 while(!(SPSR&0x80)) {;}  //等待发送完成
 clear=SPSR;//先读SPSR，再访问SPDR，可以清除SPI完成的标志SPIF
 clear=SPDR;
 clear=clear;
 SET_BIT(PORTB,SS); //禁止SPI从器件
 delay_us(100);  //100μs的延时;
 CLR_BIT(PORTB,SS); //使能SPI从器件
 SPDR=Data;//发送数据
 while(!(SPSR&0x80)) {;}//等待发送完成
 clear=SPSR;//先读SPSR,再访问SPDR，可以清除SPI完成的标志SPIF
 clear=SPDR;
 SET_BIT(PORTB,SS); //禁止SPI器件
}
//**************************************************
uchar SPI_MasterRead(uchar Address)//SPI主机接收子函数
{
 uchar clear;//定义局部变量
 uchar Data;
 CLR_BIT(PORTB,SS); //使能SPI从器件
 SPDR=Address;//发送地址
 while(!(SPSR&0x80)) {;}  //等待发送完成
 clear=SPSR;//先读SPSR,再访问SPDR，可以清除SPI完成的标志SPIF
 clear=SPDR;
 clear=clear;
 SET_BIT(PORTB,SS); //禁止SPI器件
 delay_us(100);//100μs的延时
 CLR_BIT(PORTB,SS); //使能SPI器件
 SPDR=Address;//发空数据，为的是读取数据
 while(!(SPSR&0x80)) {;}//等待发送完成
 clear=SPSR;//先读SPSR，再访问SPDR，可以清除SPI完成的标志SPIF
 Data=SPDR;
 SET_BIT(PORTB,SS); //禁止SPI器件
 return(Data);//返回读取的数据
}
//**************************************************
void main(void)//主函数
{
 uchar value;//定义局部变量
 Delay_nms(400);//等待电源稳定
 port_init();//端口初始化
 spi_init();//SPI初始化
 InitLcd();//液晶初始化
 ePutstr(0,0,str1);//液晶屏上显示预定的内容
 while(1)//无限循环
 {
  SPI_MasterTransmit(0x01,0xfe);Delay_nms(100);//向地址0x01写0xfe，点亮第1个LED
  SPI_MasterTransmit(0x01,0xfd);Delay_nms(100);//向地址0x01写0xfd，点亮第2个LED
  SPI_MasterTransmit(0x01,0xfb);Delay_nms(100);//向地址0x01写0xfb，点亮第3个LED
  SPI_MasterTransmit(0x01,0xf7);Delay_nms(100);//向地址0x01写0xf7，点亮第4个LED
  SPI_MasterTransmit(0x01,0xef);Delay_nms(100);  //向地址0x01写0xef，点亮第5个LED
  SPI_MasterTransmit(0x01,0xdf);Delay_nms(100);  //向地址0x01写0xdf，点亮第6个LED
  SPI_MasterTransmit(0x01,0xbf);Delay_nms(100);  //向地址0x01写0xbf，点亮第7个LED
  SPI_MasterTransmit(0x01,0x7f);Delay_nms(100);  //向地址0x01写0x7f，点亮第8个LED
  SPI_MasterTransmit(0x01,0xff);Delay_nms(100);  //向地址0x01写0xff，熄灭全部LED
  Delay_nms(1);//1毫秒的延时
  value=SPI_MasterRead(0x11);//从地址0x011读取数据
  DisplayOneChar(12,1,value/100+0x30);//读取的数据显示在液晶屏上
  DisplayOneChar(13,1,(value/10)%10+0x30);//读取的数据显示在液晶屏上
  DisplayOneChar(14,1,value%10+0x30);//读取的数据显示在液晶屏上
 }
}
```

2. 单片机程序设计

单片机程序采用C语言编写，使用IAR Embedded Workbench 5.11B集成开发环境编译，文件名为send.c。限于篇幅，下面仅给出SPI发送与接收的子函数及通信主函数进行分析，完整的代码可到本刊网站www.radio.com.cn下载。

使用USB手柄控制的蓝牙无线小车

◇蒋瑞挺

目前智能小车的控制大多采用有线连接、按键控制的方式。这种方式由于控制线的存在，影响控制距离及灵活性，同时普通按键多次使用后会令手指很不舒适。少数无线控制的，采用红外的方式比较多。红外无线方式虽然成本低廉，但是存在着受控距离有限、数据传输慢、容易受干扰等缺点。而基于蓝牙的无线传输，具有传输速度快，互不干扰等特点。结合蓝牙无线传输及USB手柄控制，本文设计了一款使用手柄控制的蓝牙无线小车。该小车能够通过普通USB手柄，对小车进行前进后退、左右转弯等全方位远程控制。

USB手柄是专门为在PC上玩模拟器游戏所设计的控制器，用于代替键盘实现人机交互。玩过模拟器游戏的人，对这个手柄都非常熟悉，知道这个外设控制灵活、使用舒适。一般USB手柄至少都有方向键及动作键等12个按键，完全可以胜任对小车的全面控制。

蓝牙是一种支持设备短距离通信（一般10m内）的无线电技术，能在包括移动电话、PDA、无线耳机、笔记本电脑、相关外设等众多设备之间进行无线信息交换。蓝牙技术能够有效地简化移动通信终端设备之间的通信，也能够成功地简化设备与Internet之间的通信，从而使数据传输变得更加迅速高效，为无线通信拓宽了道路。蓝牙采用分散式网络结构以及快跳频和短包技术，支持点对点及点对多点通信，工作在全球通用的2.4GHz ISM（即工业、科学、医学）频段，其数据速率为1Mbit/s，采用时分双工传输方案实现全双工传输。

硬件设计

PC端只需要将USB蓝牙模块及USB手柄插入到USB端口上，就可以实现无线控制命令的发送，因此自行设计的硬件主要是用于对小车的控制。主控制器采用ATmega16单片机，无线模块则采用串口蓝牙通信模块，整体系统框架如图1所示。

1. USB手柄

USB手柄采用的是蓝正的免驱动双震动摇杆手柄，其价格低廉，手感较好，实物如图2所示。该手柄支持Windows自带的驱动，插上电脑后即可以使用。

2. USB蓝牙模块

对于没有自带蓝牙模块的电脑，用USB蓝牙模块扩展蓝牙功能是最好的选择。该模块价格低廉，无需安装驱动，即插即用，其实物如图3所示。

3. 串口蓝牙通信模块

对于普通单片机来说，受限于自身的资源及运算能力，只能采用串口蓝牙通信模块来扩展蓝牙功能。串口蓝牙通信模块采用串口与外部控制器通信，本身集成了蓝牙协议，可以做无线串口透传。由于蓝牙模块需要工作在3.3V，但是本系统的主电源为5V，同时蓝牙的I/O电平与主控制器电平不匹配，因此设计了一块扩展板进行电源与I/O的电压匹配，其原理图如图4所示。其中MCUTX引脚与单片机的PD1引脚连接，MCURX引脚与单片机的PD0引脚连接。将蓝牙模块安装到匹配板上，其实物如图5所示。

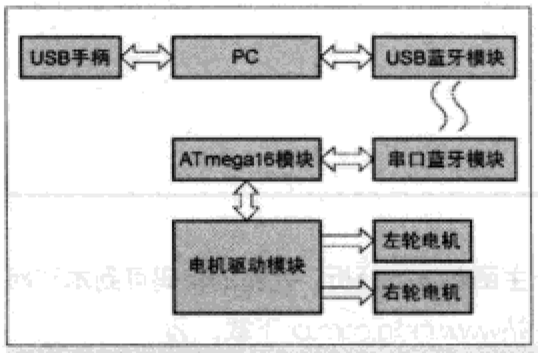


图1 硬件系统框架图

图2 USB手柄实物图

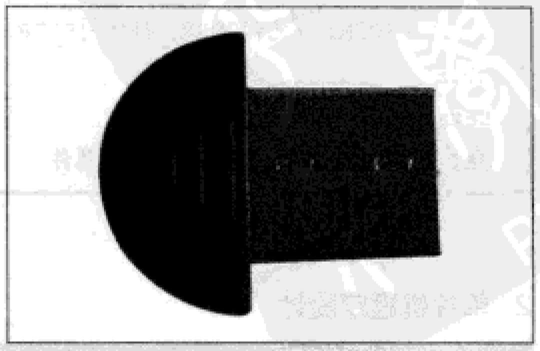


图3 USB蓝牙模块实物图

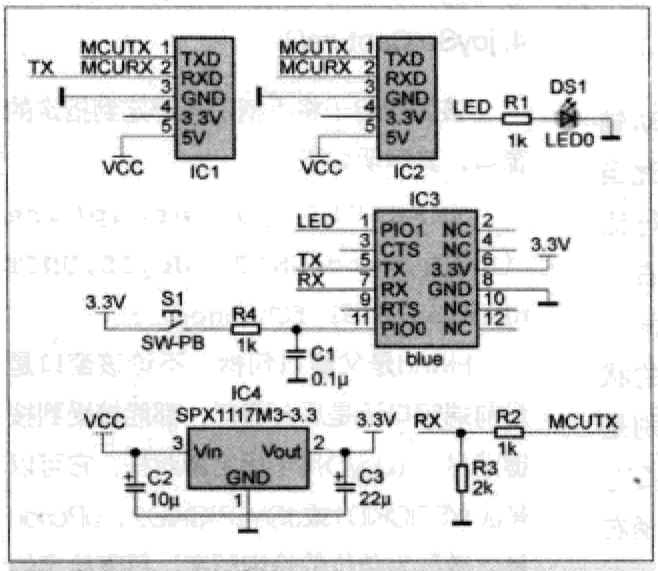


图4 串口蓝牙匹配板电路

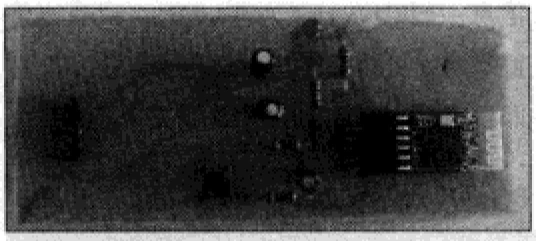


图5 串口蓝牙匹配板实物图

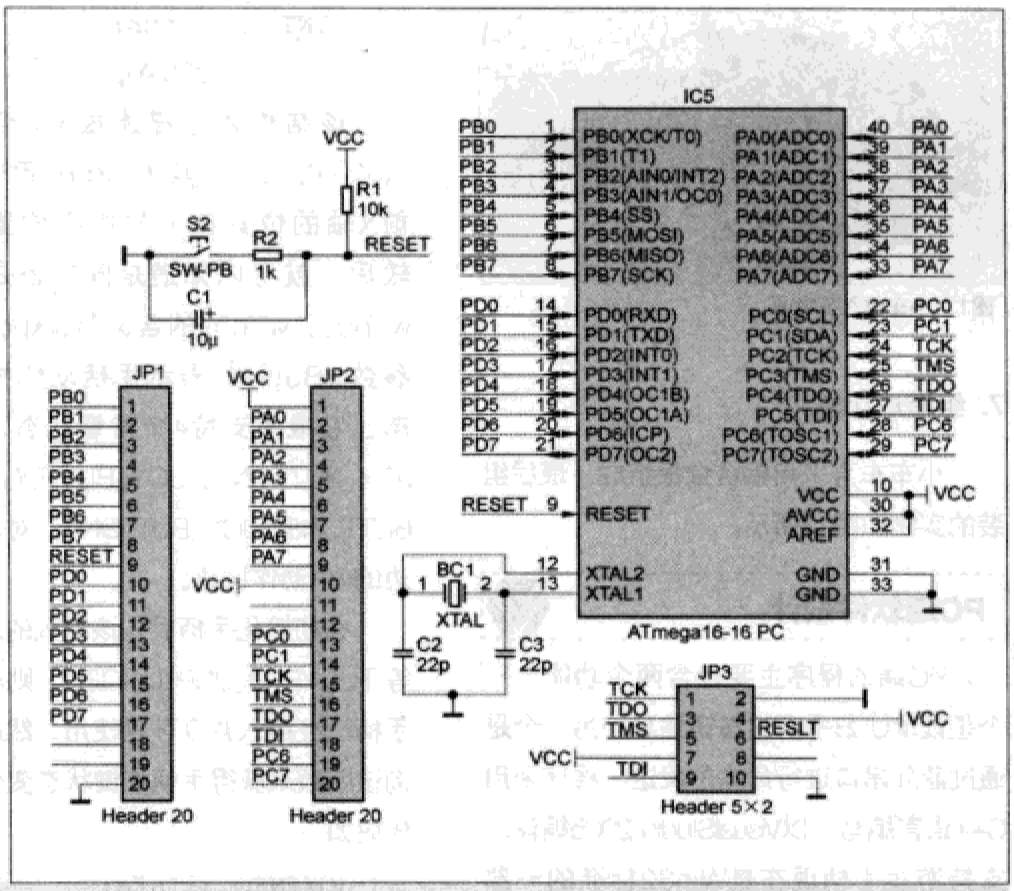


图6 ATmega16最小系统原理图

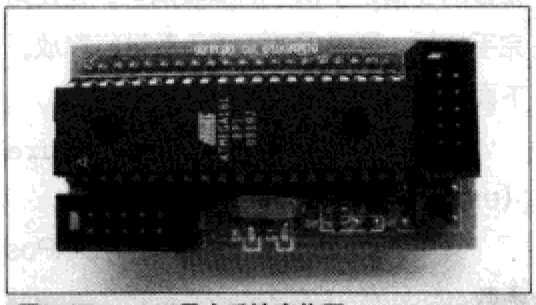


图7 ATmega16最小系统实物图

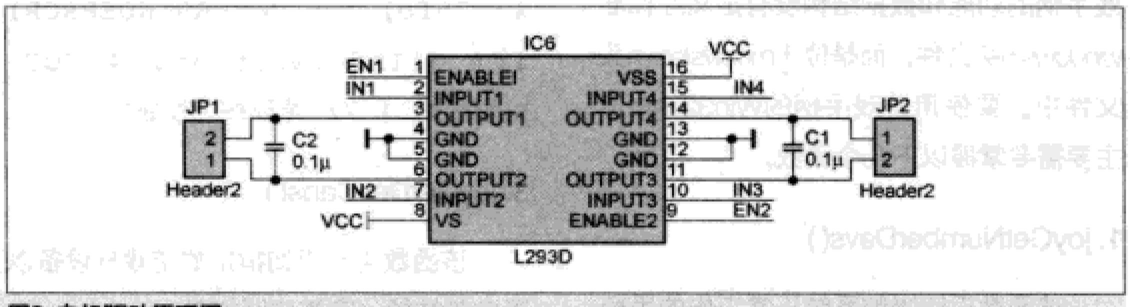


图8 电机驱动原理图

4. ATmega16模块

主控制单元ATmega16是基于增强的AVR RISC结构的低功耗8位CMOS微控制器。由于其具有先进的指令集以及单时钟周期指令执行时间，ATmega16的数据吞吐率高达1MIPS/MHz，从而可以缓解系统在功耗和处理速度之间的矛盾。该高性能单片机完全符合本设计的要求，其最小系统原理图如图6所示。按照模块化设计思想，本文将最小系统制作成单独模块，其最终实物如图7所示。

5. 电机驱动模块

L293D是一款单片集成的高电压、高电流、4通道电机驱动模块，设计用于连接标准DTL或TTL逻辑电平，驱动电感负载（诸如继电器线圈、DC和步进电机）和开关功率晶体管等。本文使用L293D驱动两个微型直流电机，其原理图如图8所示，其中各个对外接口与单片机的具体引脚的连接如附表所示。

6. 电源

电源采用可充动力锂电池，输出电压7.4V，电池容量1000mAh，放电倍率15C，其实物如图9所示。由于电路的主工作电压为5V，因此电源电压需要进行降压，从7.4V降压到5V，原理图如图10所示。

附表 电机驱动模块与单片机模块连接表

电机驱动模块接口	单片机模块引脚
EN1	PB0
IN1	PB2
IN2	PB4
EN2	PB1
IN3	PB5
IN4	PB3

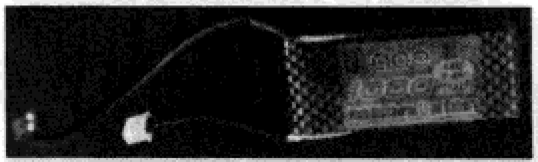


图9 电源

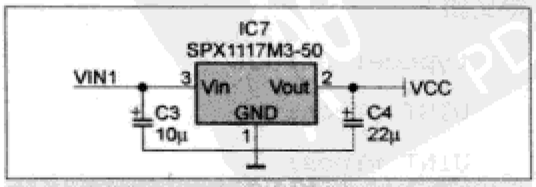


图10 电源模块原理图

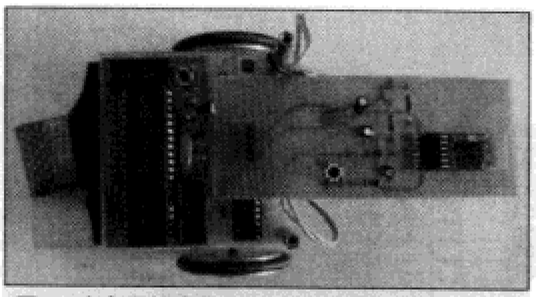


图11 小车最终实物图

7. 组装成小车

小车车身采用铝合金板组成，最后组装的实物如图11所示。

PC端软件设计

PC端的程序主要包含两个功能，一个是读取USB手柄的按钮信息，另一个是通过蓝牙串口进行命令的发送。程序采用C++语言编写，以VisualStudio 2005编译。支持游戏手柄现在是Win32标准的一部分，通过多媒体子系统实现，但是关于游戏手柄的功能和数据结构没有定义在标准windows.h头文件，而是位于mmsystem.h头文件中。要使用游戏手柄的Win32 API，主要需要掌握以下几个函数。

1. joyGetNumberDevs( )

该函数返回当前系统正常工作的手柄个数。

2. joyGetPos( )

该函数用于获取手柄的详细信息，完整的声明如下：

```
MMRESULT joyGetPos(UINT uJoyID,LPJOYINFO pji );
```

其中uJoyID是用于引用手柄的唯一ID，其值为内置的宏定义（JOYSTICKID1,JOYSTICKID2等）。pji是指向JOYINFO结构体的指针，而JOYINFO结构体则包含了手柄的所有输入信息，其定义如下：

```
typedef struct {
UINT wXpos;
UINT wYpos;
UINT wZpos;
UINT wButtons;
    } JOYINFO;
```

该结构体可描述最多3个移动轴（*X*、*Y*、*Z*）。其中wXpos用于描述当前X轴的位置值，与中心位置进行比较后，就可以知道是向左还是向右。wYpos、wZpos的含义与wXpos相同。参数wButtons表示手柄动作按钮的状态，它最多支持4个常量状态，分别是JOY_BUTTON1、JOY_BUTTON2、JOY_BUTTON3、JOY_BUTTON4，对应手柄右边的4个动作按钮。

在初始化手柄时；该函数的返回值不等于JOYERR_UNPLUGGED，则表示当前手柄已经插入并且可以使用。然后通过轮询该函数来获得手柄按键状态变化。示例代码如下：

```
JOYINFO jiInfo;
if(joyGetPos(JOYSTICKID1, &jiInfo) == JOYERR_NOERROR)
if( jiInfo.wButtons & JOY_BUTTON1 ) // 是否按下按钮1
```

3. joyGetDevCaps( )

该函数用于查询指定的游戏杆设备以确定其性能，完整声明如下：

```
MMRESULT joyGetDevCaps(UINT_PTR uJoyID, LPJOYCAPS pjc, UINT cbjc);
```

其中参数uJoyID的含义同joyGetPos函数，pjci是指向JOYCAPS结构体的指针，cbjc则是JOYCAPS结构体长度。JOYCAPS结构体成员变量很多，但是主要用到的是各个轴的最小位置与最大位置。下面的代码说明如何确定*X*、*Y*两轴的中心，用来标识各个轴的范围大小：

```
JOYCAPS jcCaps;
joyGetDevCaps( JOYSTICKID1, &jcCaps, sizeof(JOYCAPS) );
DWORD dwXcenter =( (DWORD)jcCaps.wXmin + jcCaps.wYmax ) / 2;
DWORD dwYcenter =( (DWORD)jcCaps.wXmin + jcCaps.wYmax ) / 2;
```

4. joySetCapture( )

该函数用于将手柄消息绑定到指定的窗口，其声明如下：

```
MMRESULT joySetCapture(HWND hwnd,UNIT uJoyID,UNIT uPeriod,Bool fChanged);
```

Hwnd是父窗口句柄，不论该窗口是最前端窗口还是后台窗口，都能接受到按键消息。uJoyID用于指定游戏杆，它可以是JOYSTICKID1或JOYSTICKID2。uPeriod是以微秒为单位的轮询频率，每隔给定的轮询间隔就给应用程序发送有关游戏杆的信息。当fChanged为TRUE时，只有当位置信息发生改变时才发送消息，否则，按照设定的轮询周期发送消息。

5. joyReleaseCapture

该函数用于释放由JoySetCapture函数设置的在指定手柄上的捕获消息。在使用完手柄后，要确保调用该函数进行释放。下面为该函数的定义：

```
MMRESULT joyReleaseCapture(UNIT uJoyID);
```

其中参数uJoyID的含义同joyGetPos函数。

蓝牙串口的读写操作与普通串口相同，采用CreateFile函数打开蓝牙串口，采用ReadFile与WriteFile函数进行读写操作，这里不再详细论述。PC端程序的总体流程图如图12上方所示。

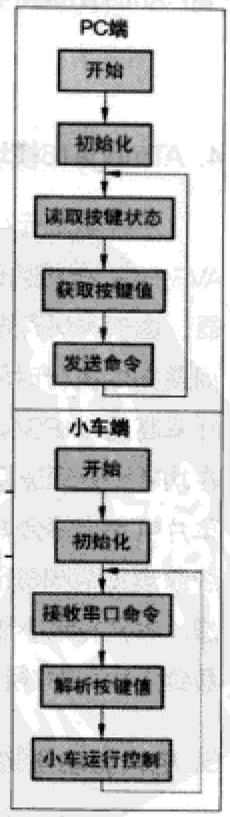


图12 流程图

小车端软件设计

小车端软件采用C语言编写，以AVR-GCC进行编译，其主要功能包括从蓝牙串口接收控制命令，然后根据控制命令通过

单片机开发实例及程序研究

◇周兴华

GPS卫星定位仪DIY

GPS全球卫星定位系统从根本上解决了人类在地球上的导航和定位问题，在军事和工农业等诸多领域得到了广泛的应用，给导航和定位技术带来了巨大的变化。

GPS系统由控制部分、空间部分和用户端组成。空间部分和控制部分由美国军方维护，主要是保证卫星正常工作及其发送的信号准确无误。用户端即为大家平常用的GPS接收机，目前有多家公司的多种款式接收机，基本操作都是接收卫星信号并计算接收机所在位置。

在空间部分，美军布置了24颗Block II工作卫星，卫星轨道距地面20200km，轨道面与地球赤道面的夹角为55°，轨道面之间在赤道面投影的夹角为60°。每个轨道面布置4颗卫星，所以总卫星数是6个轨道面乘以4，共24颗。每颗卫星每11h 58min 绕地球一周。由21颗正式的工作卫星加3颗活动的备用卫星组成的系统，保证在每天24小时的任何时刻，在高度角15°以上，都能够同时观测到4颗以上卫星。

GPS工作原理

根据数学定律，只要知道卫星在空中的位置及卫星到接收机的距离，那么在同一时间，如果有3颗卫星和3个距离，就可以计算出接收机的位置。理论上只要有3颗卫星就能定位接收机的坐标了，但实际上，卫星和接收机分别有自己的时钟，这两个时钟是不同步的，而接收机测量距离的原理，是计算卫星信号的传播时延，所以需要另外一个观测量（第4颗卫星），来估算卫星和接收机之间的时钟差。

也就是说，通过计算卫星发出一帧信息的时间，与接收机接收到这一帧的时间之差，乘以光速，就得到卫星与接收机之间的距离。由4个观测量、4个卫星的位置，通过解一个4元的非线性方程，就能算出接收机的位置。

GPS定位精度主要由接收机的观测量和卫星共同决定。观测量的质量主要由以下因素决定：卫星轨道和时钟误差

L293D对小车进行控制，其总体流程如图12下方所示。下面对程序的几个关键之处做详细说明。

1. 串口操作

串口蓝牙模块默认的串口配置为波特率9600、8位数据位、1位停止位、无校验位，因此单片机的串口也需要作相同的设置。同时，由于程序流程相对简单，采用查询的方式对串口进行读写操作。单片机的串口设置程序如下：

```
UCSRC = (1<<URSEL)|0x06;
UBRRL= (F_CPU/BAUDRATE/16-1)%256;
UBRRH= (F_CPU/BAUDRATE/16-1)/256;
UCSRA=0x00;
UCSRB=(1<<RXEN)|(1<<TXEN);
```

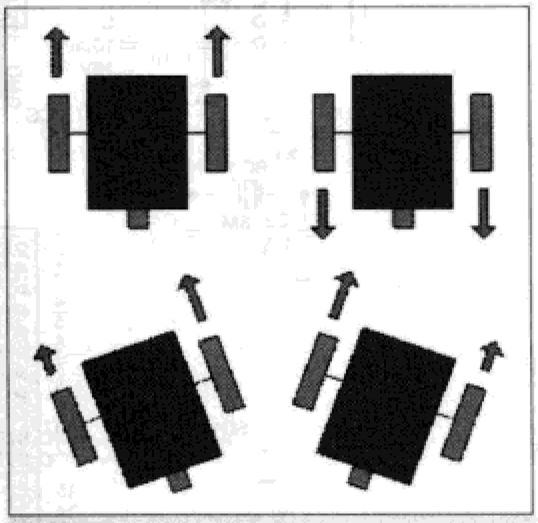


图13 小车方向控制原理图

其中BAUDRATE定义为9600，F_CPU定义为单片机的工作频率。

2. 小车控制

小车采用恒定的PWM占空比来实现固定速度的前进与转向。程序中使用ATmega16的16位定时器模拟实现两路8位PWM输出，同时控制左右轮两个电机，实现原理如图13所示。

总结

与自己设计的按钮控制器相比，USB手柄更具有人体工程学上的优势，使用更为舒适。同时，与红外无线通信相比，蓝牙具有应用简单、通信可靠以及成本低廉的优势。将两者结合用于小车的控制，解决了自制控制器外观粗糙、使用繁琐以及不稳定的缺点，具有很高的实际使用价值，同时还可以拓展应用，将该控制技术应用到别的需要远程控制的设备上。

■ 相关程序请到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn上下载。

语句格式	$GPGGA	<1>	<2>	<3>	<4>	<5>	<6>	<7>	<8>	<9>	M	<10>	M	<11>	<12>	*hh	<CR><LF>
例子	$GPGGA	055148	2407.8945	N	12041.7649	E	1	00	1.0	155.2	M	16.6	M	X.X	xxxx	*47	
分析	GPS定位信息	世界标准时：05时51分48秒	纬度：24度07.8945分	北半球（S指南半球）	经度：120度41.7649分	东半球（W指西半球）	GPS等级。0：表示资料可用；1：非GPS定位资料；2：GPS定位资料	所使用的卫星数	平面精度指标(HDOP)	平均海平面高度	单位米	大地起伏值	单位米	差分GPS数据期	基站站号0000-1023	校验位	

（1~3m）、电离层误差（1~30m）、对流层误差（0.6m）、CA码噪声（0.6m）、多径（接收的路径）。

通常GPS定位的垂直精度没有水平精度高，由于卫星散布在接收机周围，所以得到的水平精度就比较好。而对于高度，因为我们只能接收到头顶的卫星信号，而地球背面的卫星信号都被阻挡了，因此只有一面的卫星信号，所以垂直方向上的不确定度就比水平方向大。例如，在市区，由于高楼大厦林立，GPS定位精度较差，误差可达上百米。

GPS使用的NMEA数据格式码介绍

GPS传送的是美国国家海洋电子学会（NMEA）制定的航海电子仪器间的通信标准码（NMEA格式码），它包括了数据的格式及传输数据的通信协议。

NMEA规格有0180、0182、0183等3种，NMEA-0183是在0180及0182的基础上增加了GPS接收器输出的内容而完成的。在电子传输的实体界面上，NMEA-0183包括了NMEA-0180及NMEA-0182所定的RS232界面格式，又增加了EIA-422的工业标准界面，在传输的数据内容方面，也比NMEA-0180及NMEA-0182多。目前广泛使用的NMEA-0183的版本为2.01。

NMEA格式所传输的数据为美国国家标准信息交换码（ASCII码），以句子的方式传输数据，每一个句子的长度不一定，最长可达82个字符。

每一个句子的第一个字符以“$”为起始位置，句中的字段以逗号分开，以转义字符CR、LF（16进制13H、10H）为终止符。

第二、三个字符为传输设备的标识符，如“GP”为GPS的接收仪，“LC”为Loran-C接收仪，“OM”为Omega Navigation接收仪。

第四、五、六个字符为传输句子的名称，如“RMC”为GPS建议的最小传输数据，“GGA”为GPS固定数据。

这些卫星上传来的数据包含如下内容：经度、纬度、定位完成代号、采用有效的卫星颗数、所用的卫星编号、仰角、方向角、接收信号强度、卫星方位角、高度、相对位移速度、相对位移方向角度、日期、UTC时间、DOP误差参考值、卫星状态及接收状态等。

NMEA-0183输出的主要语句有：

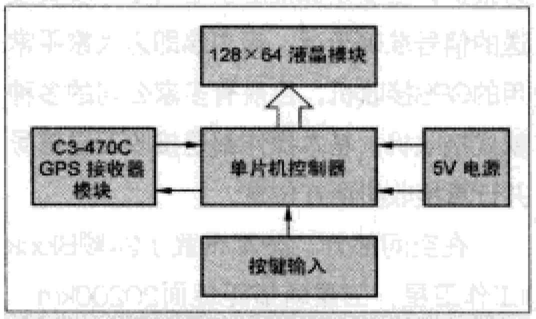


图1 GPS接收器的系统构成

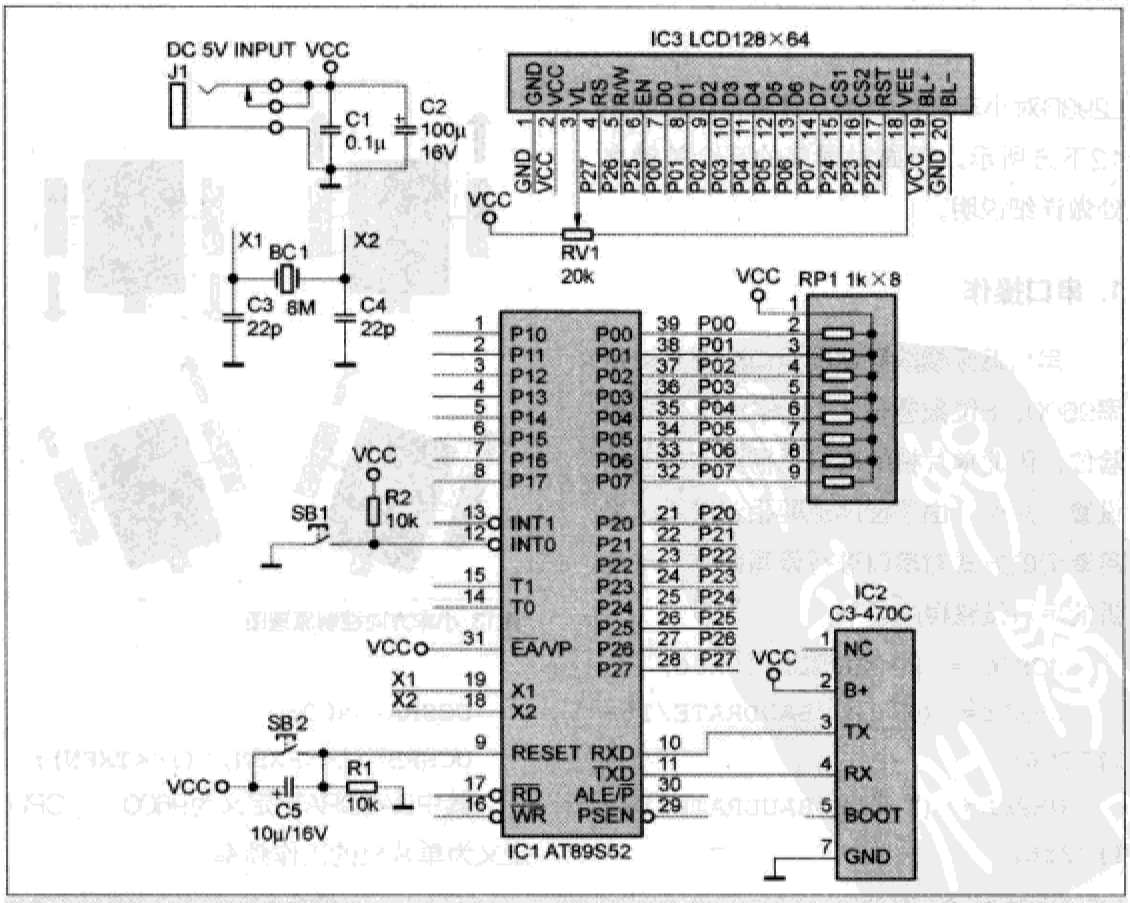


图2 多用途GPS接收器电路原理图

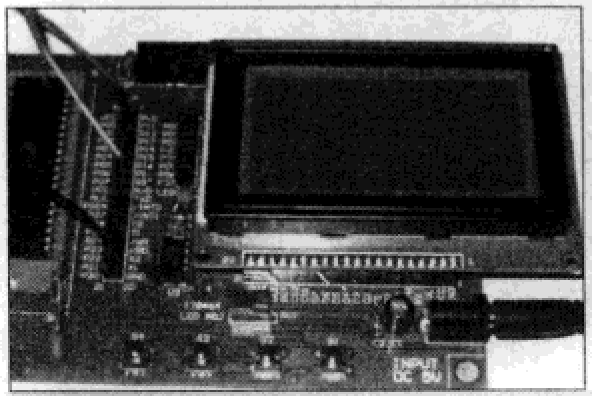


图3 实验样机照片

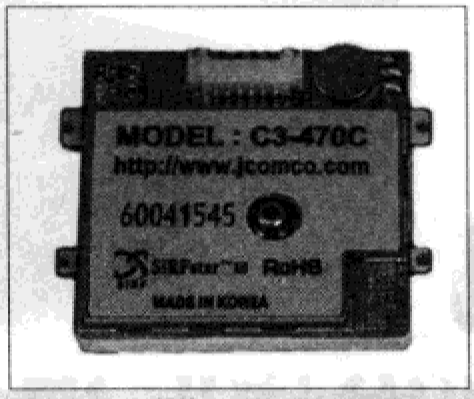


图4 C3-470C模块

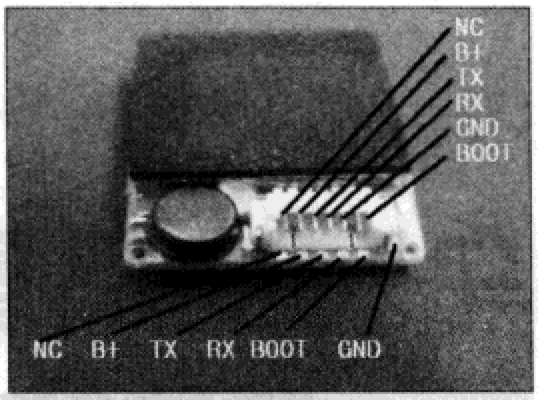


图5 C3-470C的接口定义

GPGGA GPS定位信息

GPGLL 基本地理位置（经度及纬度）

GPGSA 当前卫星信息

GPGSV 可见卫星信息

GPRMC 推荐定位信息

GPVTG 地面速度信息

下面以GPGGA语句为例进行分析。

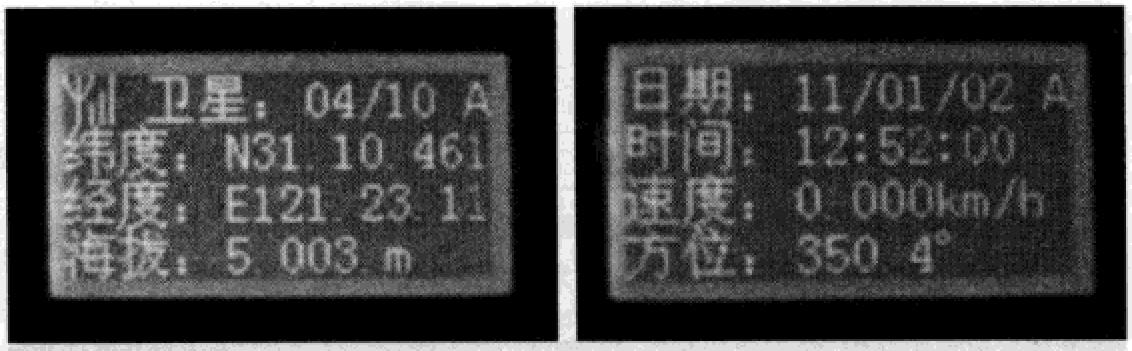


图6 收到的卫星定位信息（页面1、页面2）

GPS卫星定位仪制作

1. 电路设计

GPS卫星定位仪的系统构成如图1所示，由单片机控制器、按键输入、128×64液晶显示屏及电源等组成，具体电路图如图2所示，实际制作的实验样机如图3所示。

GPS接收模块选用韩国Jom公司的C3-470C，也可用美国GARMIN公司的25LP。C3-470C的外形如图4所示，反面还含有内置天线，在实际使用中灵敏度较高，不用外置天线也能得到满意的接收效果。C3-470C使用的芯片组为SIRF Ⅲ，接口定义如图5所示。

单片机选择ATMEL公司的通用廉价型号AT89S52。C3-470C GPS模块接收的卫星NMEA格式码信号通过串口送入单片机进行解码，并将接收结果显示于128×64液晶屏上。128×64液晶屏可以显示中文、英文或ASCII码，用它显示收到的卫星信号比较合适。

由于显示的内容较多，因此需要使液晶翻页显示（共两个页面），这里设计了一个按键SB1，可控制液晶翻页，以显示较多的内容。

GPS卫星定位仪的实验样机使用外置5V稳压电源供电，如果读者要移动使用，可以使用锂电池供电，但应该使用电源管理芯片，以延长电池使用寿命。

2. 软件设计

程序采用结构化模块方式设计，主要分主控程序文件、液晶驱动程序文件和头文件三大部分，便于整个程序的装配。主控程序文件中包含了对卫星NMEA格式码信号的解码。限于篇幅，这里不进行介绍，完整程序可以到无线电杂志的网站www.radio.com.cn下载。

应用

制作完成后，经检查无误后方可通电。一开始GPS属于冷启动，可能需要较长的时间搜索卫星。如果发现GPS的搜星与定位时快时慢，这是源于GPS启动方式的不同，GPS模块的启动有冷启动、热启动与暖启动之分。

一切无误后，通常几十秒钟后就能收到卫星的定位信号，这样就可以实际应用了。收到的卫星定位信息如图6所示，按一下按键SB1可以切换显示的页面。

TIPS

GPS启动的小知识

冷启动 GPS接收器清空了所有历史信息并重启，然后它尝试定位并锁定卫星，由于没有先前信息，这将花去很长的时间。GPS接收器采用类似于轮询的方法，从所有的卫星中锁定信号，这将比事前知道该搜索哪些卫星要慢不少。这一类重新获取锁定要花最长的时间。

热启动 GPS接收器保存有其最后计算的可视卫星的位置、卫星历书（Almanac）和UTC标准时间，在重启以后，GPS接收器以保存的上述内容为基础获取和计算当前卫星的最新位置，时间最少。

暖启动 GPS接收器保存有最后计算的可视卫星的位置、卫星历书和标准时间，但保存的内容不是当前可视卫星的数据。GPS接收器重启以后，尝试去获得当前卫星和信号并计算其新位置。接收器基于其最后的位置和历书得以大概知道当前天空中的可视卫星，花费的时间介于冷启动与暖启动之间。

■ 相关程序请到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn上下载。

◇姚宗栋

乌鸦变凤凰
——老功放“发烧”记

制作前的准备工作

作为一名喜欢音乐的电子爱好者，一直想制作一台比较满意的功放机来欣赏优美动听的音乐，可是因为家庭经济条件不是很宽裕，如果自己向厂家单独订做机箱、设计电路板、购买元件，所有费用难以通过家中“财政部长”的审批。如果全部自己制作，机壳的制作难度又太大，很难专业化。经过一番仔细思考，最后确定了一套既省钱又能过把“烧”瘾的制作方案——挑选一台外观漂亮、底子优良的旧功放，再尽力将其完善之。不求元件选用上的“高烧”，但力求电路设计、制作细节上的完美。不盲从别人的经验，争取有所突破，发一次既经济又有意义的“烧”。

“心动就要行动！”接下来的首要任务就是挑选一台值得“雕琢”的旧功放。周末到市里二手设备市场，经过来来回回地挑选和反反复复地对比，终于锁定一台早年生产的“诗华”牌“SA-940”家用功放机，之所以选定它，是因为其机器前面板设计中规中矩、稳重大方，属于本人非常喜欢的类型。整机外观除机壳上部有两处轻微的划痕外，没有任何挤压、跌撞、油污等破坏，而且所有的旋钮和按键都齐全、无明显磨损痕迹。透过顶部的散热窗口可以看到其内部只是一层轻微的灰尘，而且大功率环形变压器外露的粗实铜丝给人信心十足的感觉，颜色也还是相当的新亮。于是让老板当场试机：电源、面板按键指示灯可以点亮，面板各按键操作功能基本正常，机内无冒烟、糊味现象。接上音箱试音，一声道声音正常，另一声道任老板怎么调整，却只有微弱且失真的声音。我心中暗喜：这回有讨价还价的理由喽！征得老板同意，用螺丝刀拆开外壳，发现其内部元件用料尚可：各集成电路和功率管等关键元件大多采用正品进口元件，信号通路电容采用日本“ELNA”电容，其输出功率管散热片体积虽偏小，但是作为功率需求不是很大的家用还是完全可以的。让人高兴的是机内没有发现任何维修的痕迹。经过一番仔细查看后，确定是块值得打磨的“好料”，于是与老板经过一番“揭疮露疤”的讨价还价后，我最终以100元的低价购得此机，并乐颠颠地抱着回了家。

到家的第一步就是迫不及待地卸下上盖，用除尘专用的吹风机和小毛刷小心地清除掉机内积攒的灰尘，然后进一步仔细观察其电路结构：发现其前置输入部分电路采用“BEC”的输入控制专用集成电路BA5050构成，音源电子切换采用日本“SANYO”的LC7818构成。音调调节部分采用两块“JRC”的082D为主构成普通的负反馈式音调调节电路，采用“BEC”的 BA5096为主组成卡拉OK话筒混响电路。后级功率放大部分每声道采用分离元件构成，由一对A940/C2073做推动，A1941/C5198负责功率输出。电源部分采用2个10000μF电容滤波，前级利用LM7815/7915/7805分别获得音调调节部分和整机控制部分的电源。整机用料虽然离“发烧”有一定距离，但做出的效果也还可以。

对整个电路结构大体掌握后，为了查找另一声道声音小且失

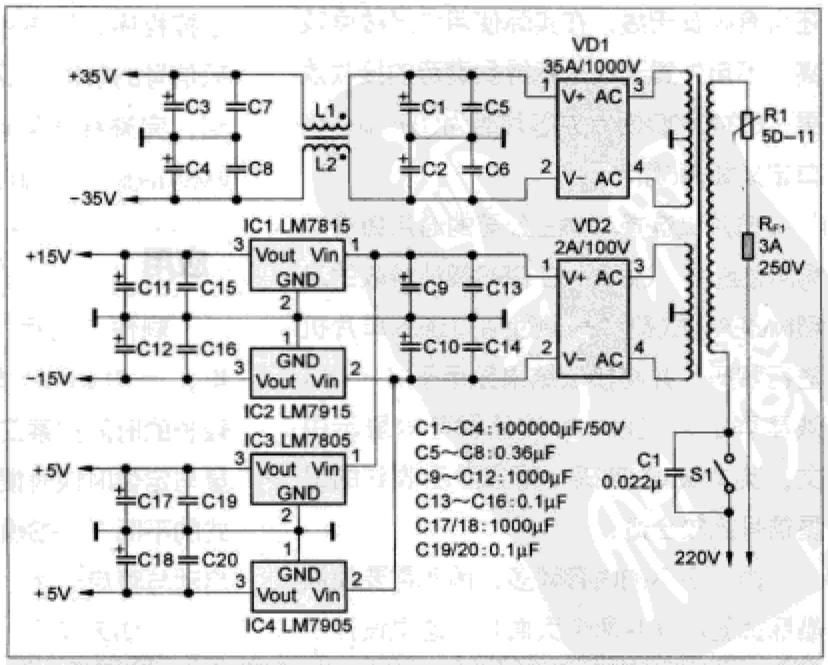


图1 电源电路

真的原因，再次通电试机，确定其前级输入选择部分电路工作正常，音调控制部分的高、低音控制旋钮在调节时没有任何高、低音变化的效果，经过测试发现高、低音调节电位器的中心滑动触点的阻值为无穷大，更换调节电位器后故障排除。右声道产生失真是因为右声道功率放大电路中一个偏置电阻的一个引脚虚焊造成的，重新补焊后声音恢复正常。按理说，到此这台机器已完全恢复正常功能，如果要求不高，维修任务也该结束了。但仔细分析 发现其功放部分采用的电路结构、印制版布线设计以及元件用料等都离本人的要求还有一定差距。因为当时购机时疏忽，忘了向老板要原机的红外遥控器，所以红外遥控功能将无法使用。原机采用的电子音源切换电路肯定会对音质产生细微的影响。机内输出模式转换部分迂回曲折的接线显得比较乱，这些离心目中的“完美”是有明显的差距。所以综合考虑以上各方面的因素，确定下一步的制作思路：保留工作正常而且性能也满足要求的音调调节部分电路，拆除前级音源选择和后级功率放大以及电源部分的电路，重新制作新电路来替换此电路。

电源部分制作

因为各个部分电路的工作都需要相应的电源供应，所以整个制作先从整机电源部分开始。本机的各部分电路的制作不是采取一蹴而就的方法，而是采取先做整机电源，再做功率放大部分，最后做前级控制部分的顺序，这样循序渐进，容易发现制作过程中出现的问题，减少出错点，提高成功率。

再好的功率放大电路如果没有好的电源做基础，也无法达到好的效果。众所周知，功率放大器的本质就是一个电源调制器。可以说好的电源是块“好玉料”，而好的功率放大电路是个“好工匠”，两者是缺一不可的。一个再好的“工匠”，没有好料是无法做出好的作品的，因此，本人在制作中非常注重电源部分的性能提高。

电源部分电路如图1所示，因为考虑到作为家用功放平时需要的输出功率并不是很大，而原机的电源变压器的功率也够用，所以并没有更换原机的环形电源变压器，只是重新制作了整流、滤波部分电路。原机采用的环形电源变压器虽然漏磁相对较小，但是为了进一步降低其对其他电路造成的干扰，决定对其采取一定的屏蔽措施。通过试验，发现恰好可以将其放入普通台式电脑电源的外壳内，电脑电源外壳的散热孔正好成为电源变压器的散热孔。将电源变压器与电脑电源外壳靠近部分做一定的绝缘隔离后固定，电源变压器的输入、输出引线通过外壳上适当位置的开孔，套上绝缘套管进一步隔离后引出，见图2。

整流部分选用电流达到35A的整流桥堆KBC3510。滤波部分采用了4个日本三菱优质大容量100000μF/50V电解电容构成。虽然电源滤波电容的容量并不是越大越好，但是，本制作还是选用了如此大容量的电容，不但让人从心理上感觉非常放心，而且

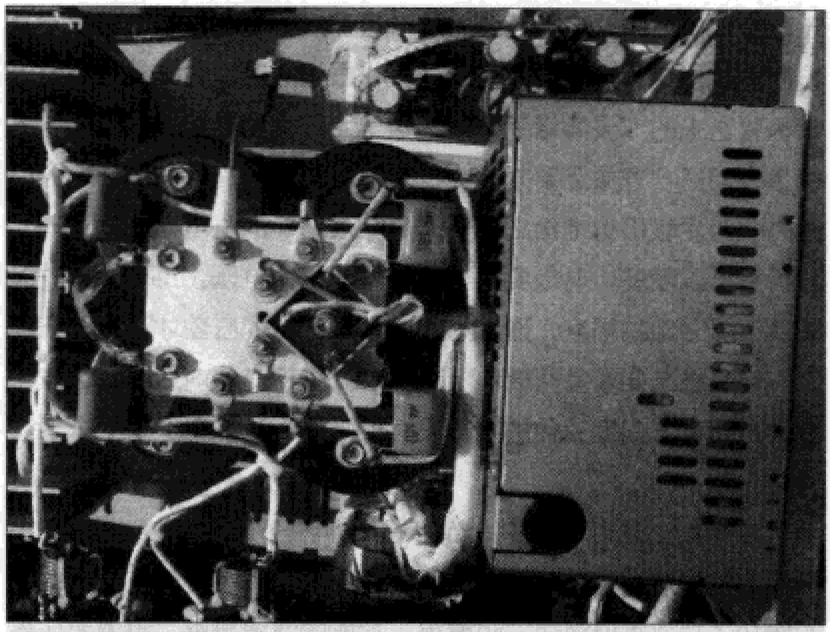


图2 电源部分的结构

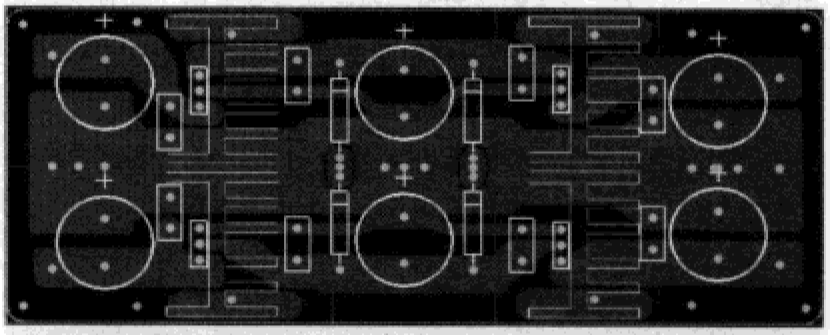


图3 电源电路的PCB

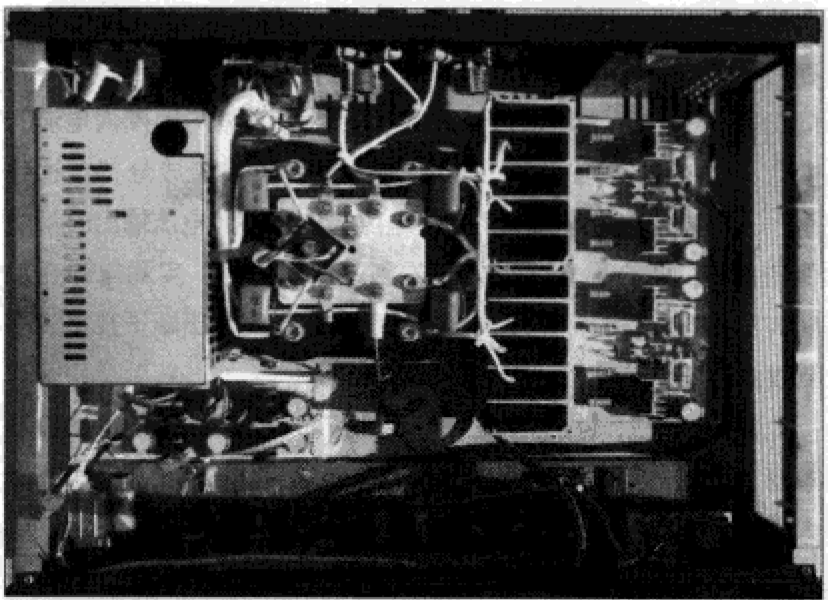


图4 整机布局图

实验证明其实际使用效果也还是让人非常满意。大功率输出时声音澎湃有力，整个声底丝毫不乱，依然非常清晰、纯净。为了避免大容量电容由于其制造工艺所形成的在高频段的电感效应，在每个大电容的两端分别并联一个0.36μF左右的涤纶电容。

由于制造成本、制造工艺等方面因素的制约，现在的功率放大电路的供电电源几乎均为一级电容滤波模式，即电源变压器输

出的交流电压经整流器整流为脉动直流后给电容充电，然后再直接向负载供电。滤波电容一方面要在极短的时间内吸纳前级整流二极管送来的“波涛汹涌”高达数伏变化的脉动直流信号来补充能量，而另一方面还要求其在没有前级能量补充时的很长一段时间内，为后级平稳地输出近乎“风平浪静”的供电电压。进一步分析更可以发现：前级要求电容自身两端的电压，每隔一定的时间要下降一定的幅度，形成与充电电压一定的压差才可以补充能量，而后级又要求其两端电压最好是丝毫不变。前后级对滤波电容的两端电压幅度变化的要求差距近千倍，让人感觉是难求两全其美。

考虑到上述因素，决定放弃将4个电容分为两组为两声道单独供电的思路，而将构成前后两级正负电源的滤波，在这两级之间增加了功能类似海边“阻波堤”功能的滤波电感。电源变压器次级输出的电压经过整流桥堆整流，形成脉动直流电压，先给由电容C1、C2、C5、C6构成的第一级滤波电路充电，在其上得到纹波幅度较小的直流电压，然后此组电容再通过滤波电感L1、L2向由电容C3、C4、C7、C8构成的滤波电路充电，信号中的脉动成分经过电感的阻拦和后级电容的进一步缓冲后，得到更高一个数量级的平滑。由于电路中加入了电感，更加强了电源大电流输出时的滤波特性，避免了普通单纯电容滤波模式大电流输出时滤波性能变差的现象，最终使得整个电源的性能“无懈可击”，达到近乎“完美”的状态。制作中使用的滤波电感L1、L2并不是普通的互相独立的两个电感，而是将两个电感线圈缠绕到同一个硅钢铁芯上，选择适当的接线极性，使前级正、负电源的电容在对后级电容充电时，流过的充电电流在铁芯上所产生的磁场方向正好互相相反，从而使形成的磁场互相阻碍对方线圈内电流的变化，“以毒攻毒”，让两个线圈内的脉动电流成分“自相残杀”，从而使整个电源不论在小电流输出还是大电流输出时都能保持良好的状态，使滤波效果得到进一步提高。实测电源在加50W左右的负载时，用示波器在后级滤波电容输出端子几乎测不到纹波电压的存在，效果让人非常满意。

制作完成后试机，当拔掉电源插头后，以近中等幅度的音量放音，电容的储能几乎可以支持功放电路工作15s左右，如此强大的电量储备，令人信心十足。当然因为采用了大容量的滤波电容，为了避免开机时电容强大的初始充电电流对电源部分元件造成过强的电冲击，在变压器的初级输入回路串入适当阻值的NTC电阻。因为其阻值在正常工作的稳定状态时较小，不会影响音质，当然也可以设置专门的开机缓启动电路。

具体制作时为了加强一点接地的效果，采用厚度接近5mm的适当大小的铝板，在适当位置钻孔后，将4个滤波大电容需要接地端直接用螺丝固定在铝板上，并在铝板的适当位置钻孔，将其他需要接地的连线，通过螺丝直接固定在铝板上，使接地电阻变得尽量小一些（见图2）。这样不但可以起到良好的电气连接效果，而且采用了简单的固定装置就可以将4个大电解电容很好地固定在底板上。同时将整流桥堆利用螺丝也直接固定在铝板上，这样既可以利用铝板散热，又大大缩短了其与电解电容的连线长度，降低了电路阻抗。

滤波电感采用功率为30W左右的C型电源变压器来改制，将其原先的初、次级绕组的线圈全部拆除，采用截面超过1mm²的粗铜线在其两个塑料线圈骨架上分别缠绕50圈左右，然后将其线头引出分别接到电源滤波电容的相应接点。连接时注意两组线圈的同名端要接到电源的同一级滤波电容的正负接线端。缠绕线圈时注意要缠紧，避免通电后流过电流时造成线圈振动，形成噪声。因为两组线圈间存在近100V的电压差，所以如果两组线圈是缠绕到同一个线圈骨架上时，一定要注意做好两组线圈间的绝缘，避免表层绝缘清漆破损后两组线圈形成短路，造成对电源的损害。

前级供电电源部分采用常见的LM7815和LM7915集成稳压块构成，电路原理见图1，印制板设计见图3，电路简单、性能可靠。音量控制驱动电机的±5V电源由LM7805和LM7905构成。单片机工作需要的+5V电源直接取自LM7805输出端。制作完成后发现单片机电路的工作和音量遥控电机的转动均不会形成有害的噪

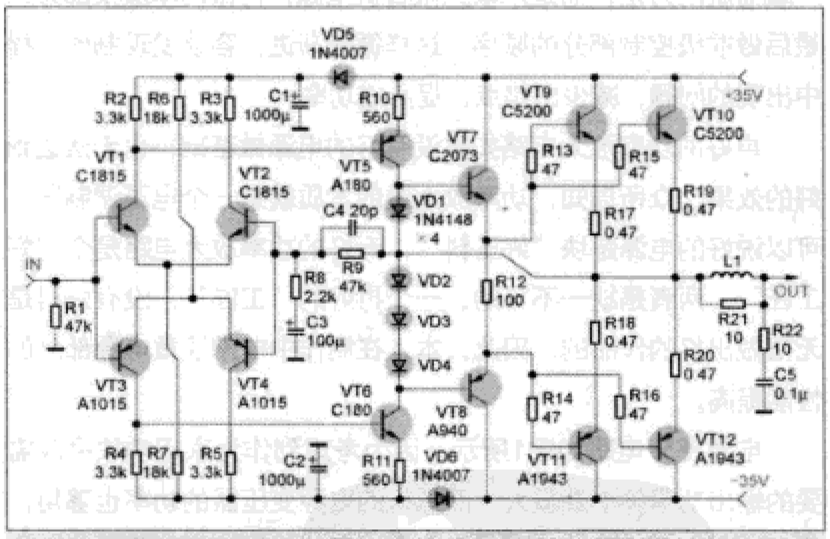


图5 功率放大电路

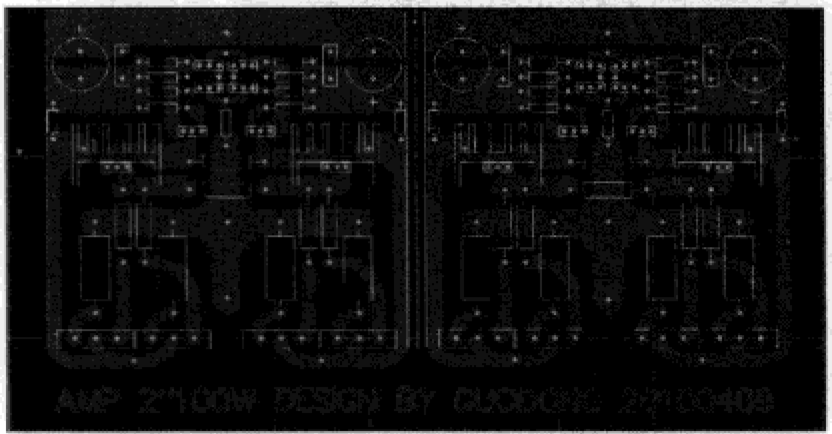


图6 功率放大电路PCB

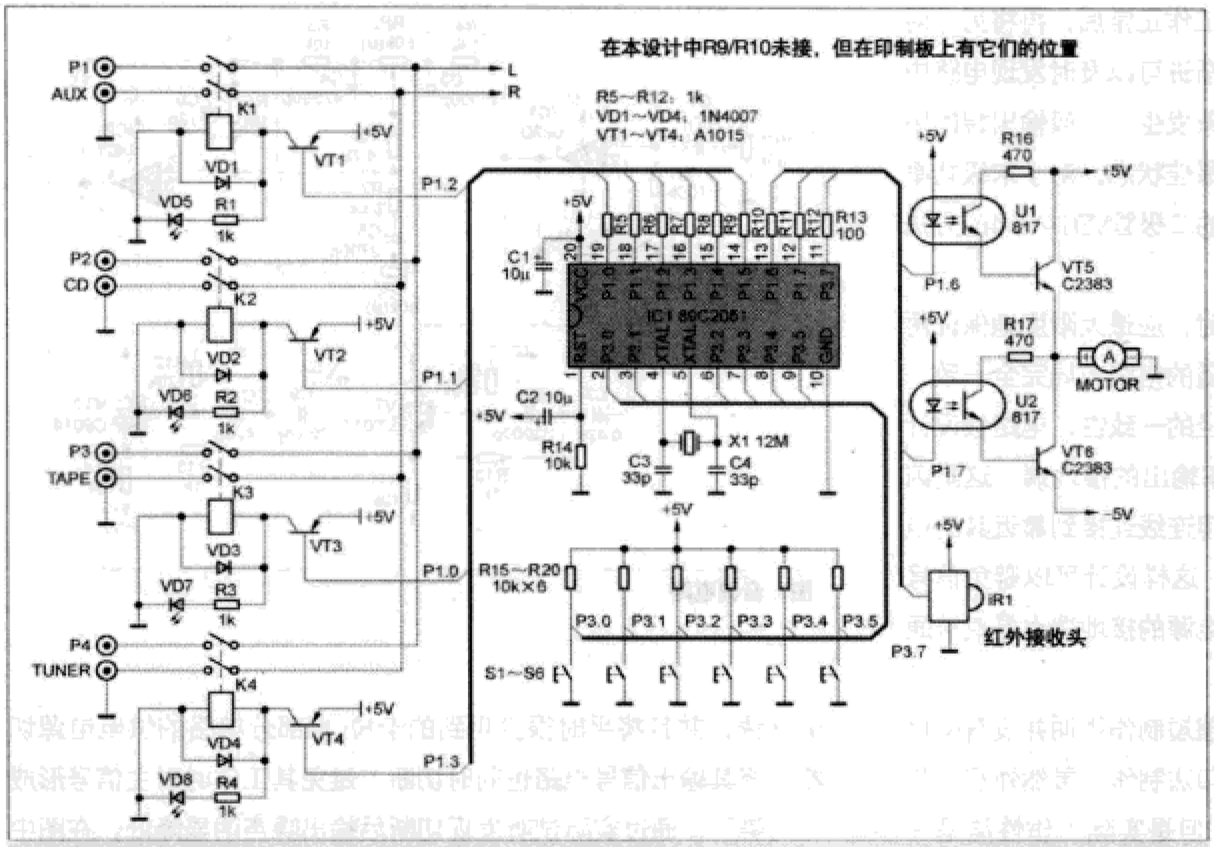


图7 输入控制电路

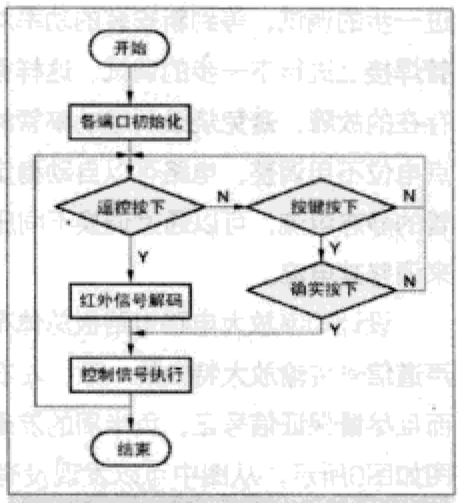


图8 程序流程图

声干扰，效果很满意。

电源部分变压器和大滤波电容位置的固定是在综合考虑了整机电路布局大原则的基础上确定的：确保各部分信号的流程尽量最短，避免信号走向的交叉重叠，强弱信号之间的相互干扰。整机最终确定的布局如图4所示。从图中可以看出，电源各部分的引线、电源到功放部分的引线、功放输出端的引线等大电流路径引线均实现了最短化连接，而且小信号连接引线也尽量做到有序、简短。

功放部分的制作

经过翻阅资料、上网查询，在对比了形形色色、各式各样的功放电路后，还是选择了一款音质没有“个性”的全对称互补功率放大电路，见图5。之所以选择它，是因为笔者认为“高保真”的初衷应该就是如实的还原信号的原本面貌，任何音质上的渲染从另一个角度上来说都应该算是一种“失真”。应该没有人想让犀利的枪声听起来“暖暖的”，也没有人想让感人的对白听起来“冷冷的”，所以最终选择了这款功放电路。本电路还具有电路结构对称性好、频响宽阔、制作调试简单等优点。电路的第一级VT1、VT2、VT3、VT4组成互补对称差分放大电路，每管的静态工作电流约1mA，选用优质低噪声互补对管2SA1015/2SC1815，有较低的噪声和较高的动态范围。第二级电压放大级由VT5、VT6组成互补推挽电路，互补对管2SA180/2SC180的工作电流约为5mA，两管集电极串接的4个二极管VD1、VD2、VD3、VD4，为驱动级提供约2.5V 的偏置电压，可选用1N4148。由VT7、VT8两只互补中功率对管2SA940/ 2SC2073构成输出驱动级，该级的工作电流可以取为10~20mA，其发射极电阻没有连接到输出端中点，而是采用了悬浮接法，可使该级始终处于甲类工作状态，避免推动管的开关失真，同时为输出功率管提供了偏置电压。输出级由VT9、VT10、VT11、VT12构成传统的互补OCL电路，采用大功率互补对管2SA1943/2S C5200，静态电流在20~100mA。为了减小大电流输出时因为功率管的h_{FE}特性下降而造成的失真，增强功放的大电流驱动能力，功率输出级每声道采用双管并联工作。环路负反馈网络的反馈电阻R8、R9将功放电路的电压增益设定在和原功放电路相近的23倍左右。为了避免功率输出级大功率输出时所造成的电源电压可能的波动对前级电压放大部分形成干扰，电路中加入了由VD5、VD6、C1、C2组成的前后级电源隔离滤波电路，使前级电压放大部分电路的电源供应不易受到后级电流输出级的影响。

制作时电路中所采用的对管，尽量都要测量配对以保证电路制作完成后的高性能，所用的电阻、二极管等元件焊接前也要进行一定的测试挑选，这样可以做到心中有数，降低故障发生的可能性。2SA180/2SC180可用常见的2SA1013/2SC2383代替，2SA1943/2SC5200可用其他参数接近的音响功率对管代替。VD1~VD4可用其他型号的二极管代替，但其总体压降应该保持在2.5V左右。具体焊接时，为了提高安全性，采取从前往后分步组装的方法，即先装前面差分放大级和缓冲驱动级，输出大功率管不先安装，功放输出负反馈取样端先连接到VD2、VD3的连接点，然后通电调试，等到前级电路输出的中点电压以及给后级提供的大功率管的偏置电压都调试正常后，再焊接一对功率管进行

进一步的调试。等到新安装的功率对管工作正常后，再将另一对管焊接上进行下一步的调试。这样循序渐进可以及时发现电路中存在的故障，避免烧毁后级功率管的现象发生。一般输出端的中点电位不用调整，电路可以自动稳定到最佳状态。对于末级功率管的静态电流，可以通过调换不同压降的二极管VD1~VD4的方法来调整其电流。

设计功率放大电路电路板总体布局时，应最大限度地保证两声道信号传输放大特性的一致，左右声道的电路布局完全一致，而且尽量保证信号正、负半周的流通路径的一致性。电路板设计图如图6所示。从图中可以发现没有功率输出的接地端，这是因为功率输出接地端是从输出端子直接利用连线连接到靠近其的电源滤波电容的接地铝板上的（见图2），这样设计可以避免信号通路的迂回曲折。前级电压放大级隔离电源的接地端也是直接通过连线连接到铝板的。

电路板的制作为了节约资金投入和缩短制作周期并没有交付电路板加工厂制作，而是自己采用热转印法制作，虽然外观上和专业电路板工厂制作的有一定的差距，但是实际工作性能是一样的，而且自己制作不但经济、实惠，制作周期也更短，修改也容易。

因为功放的电源电压不高，各元件的质量都有保证，工作状态都有一定的余量，而且使用环境比较稳定，破坏性因素不多，功放电路发生故障的几率很低，所以就没有设计制作扬声器输出保护电路。开机时在电路的稳定状态建立之前，扬声器会有些噪声，但是丝毫不影响正常使用，而且取消继电器实现直通，感觉也更“烧”一些。

前级音调调节部分制作

整机的输入选择部分的电路见图7，为了最大限度地保证输入信号的纯正，该电路舍弃了原机的电子切换方式，采用了以单片机IC1/89C2051为主控制的继电器切换方式，音源选择继电器采用日本“NEC”的EA2-5信号切换专用继电器，其采用小体积DIP10封装，5V电压供电，正好可以和单片机部分共用同一组电源，工作稳定可靠，性能优良。

为了提高使用操作的方便性，在可以利用面板按键S1~S6操作控制整机功能的情况下，还设置了以iR1为主的红外遥控接收控制电路，可以完成音源选择、音量调节等常用功能的遥控操作。由面板按键或红外遥控器输入的控制信号被单片机的相应端口检测到后，按照单片机内预设的程序，从对应的输出端口输出控制信号，完成音源的切换选择和音量的控制这两种最常用的功能的操作。具体电路原理比较简单，程序流程图如图8所示，具体程序采用较为简单的指令写成，读者可自行分析。

原机的音调调节部分电路如图9所示，通过实际分析，在电路板上断开了实际使用中很少用到的左右声道平衡调整电位器

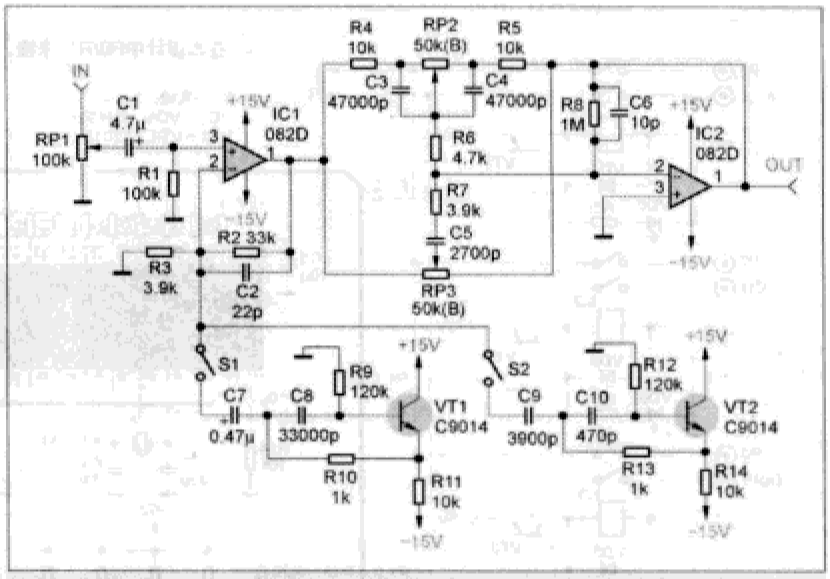


图9 音调电路

的连线，并且将平时很少用到的卡拉OK部分电路的供电电源切断，将其输出信号电路也同时切断，避免其工作时对主信号形成“污染”，通过实际试听发现切断后输出噪声明显降低。在图中上部为利用双运放组成的常见的反馈式音调调整电路，在此基础上，在图中下部还增加了以三极管VT1、VT2为主分别组成的高、低音提升电路。闭合开关S1后，由三极管VT1及外围元件组成的模拟电感与C7组成的低频串联谐振网络，将并联于IC1的负反馈输入端，分流反馈到负反馈输入端的低频信号，使IC1对相应的低频信号有更大的放大倍数，从而使低频信号的幅度有了相对的提升。高音提升网络的原理完全相同，只是提升频率在高频端。虽然本部分电路的元件数量不多，但是音质的改善效果是非常明显的：高音显得更为细腻，低音更为有力度。实际使用中感觉低音提升开关打开后，低音提升有些过，有些“崩”的感觉。分析为低音提升频率偏高所致，于是将C7由0.47μF调整为1μF，降低低音提升频率。再次试音，感觉低音丰满、深沉、清晰，没有了原来“吵”的感觉。

原机的功放输出信号模式切换电路接线非常繁琐，且已毫无用处，所以将其全部拆除，使信号的输出流程更清晰、简洁、快捷。

输入控制部分的制作分单片机按键控制板部分和输入继电器电路板部分。根据原机前后面板各部分按键和输入、输出插座位置的需要，按照电路原理图准确的设计好电路板的布局，如图10、图11所示。图10中的继电器的引脚设计为8脚，是因为为了电路排版的方便，实际制作时将继电器没有用的2个引脚去掉即可。注意这种型号继电器的线圈是有极性的，焊接线圈驱动连线时要注意这一点，否则可能造成继电器不能可靠吸合的现象。图11中设计了6组控制输出电路，实际制作时只采用了其中的4组作为音源控制使用，其他2组留作以后对电路功能的进一步改进时备用。同样利用热转印法制作电路板，然后焊接各个元件。注

意单片机89C2051最好不要直接焊接在电路板上，而是在其位置焊上一集成电路插座，将其插在插座上，这样可以在程序需要调试时，方便从电路板上取下。

制作注意事项

1. 钻孔固定大电解电容时要注意钻孔的位置要准确，钻孔孔径要比电容接线端子固定螺丝的轴径相应大一些，不至于电容固定好后，因为位置的偏差使电容的接线端子受到一定的应力而损坏。

2. 在功率放大器部分的制作调试过程中，因为每次开机时功放电源的大容量电容都要充电，即使关闭电源后较长时间内也会保持一定的电压。所以在制作调试时，如有必要，需要对电容余电进行放电，防止在进行连线焊接或元件更换的过程中对其余元件造成损坏。

3. 在更换二极管VD1~VD4调整功放末级静态电流的大小时，先挑选压降小的二极管试验，避免造成末级电流过大，而且一定要注意焊接牢固，因为万一二极管部分形成开路，将会马上烧毁驱动级、末级功率管，所以要特别注意。

4. 在本制作完成后，试将前级音调调整部分与功放电路之间的耦合电容，以及功放电路的环路负反馈端的隔直电容C3全部去掉，而采用直连的方式，通过实际测试发现对各部分电路的直流工作点的影响很小，测量功放输出端对地电位为60mV左右，完全在可以接受的范围内，而其音质应该是比任何补品电容都要更“原汁原味”。通过近一年的正常使用，说明“全程直耦”是完全可行的，也可以算是一种比较节省的“发烧”的方法吧。

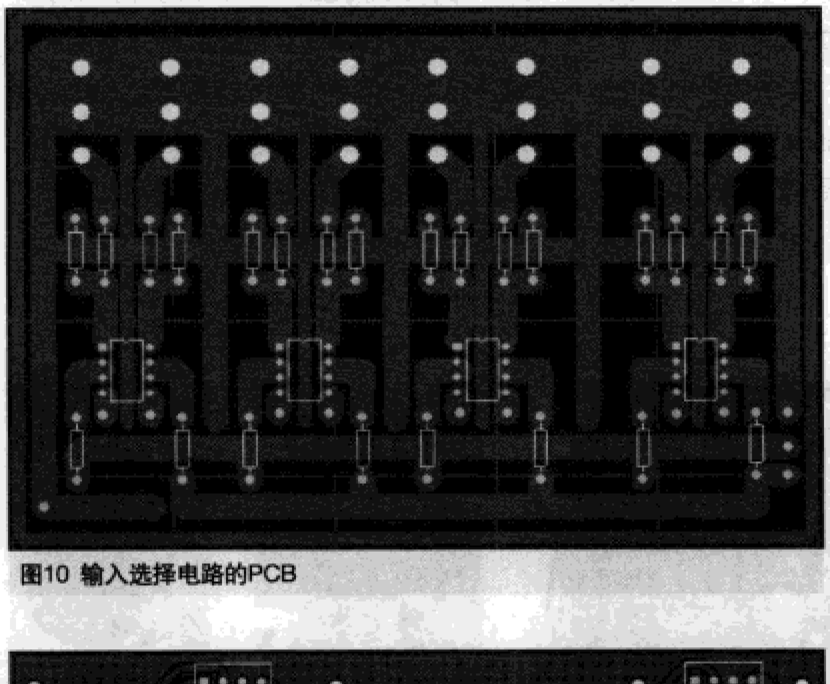


图10 输入选择电路的PCB

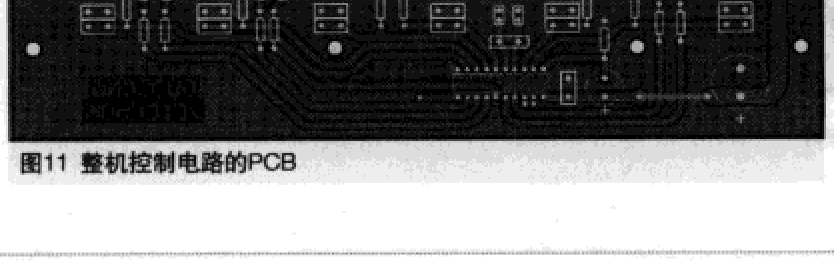


图11 整机控制电路的PCB

5. 采用的热转印法具体步骤如下：（1）将覆铜板的覆铜面用细砂纸轻轻打磨，使其露出光亮的层面，再用洗衣粉洗净整个覆铜板，并晾至彻底干燥。（2）将设计好的印制板电路图利用激光打印机打印到铜版纸的较为光滑的一面，再将其贴到电路板铜箔面，保持固定，将铜版纸折叠，紧紧包住电路板。（3）将熨斗的温度调到180℃左右，然后紧按在铜版纸上并反复熨烫，经过几分钟后，就可以将原本附着在铜版纸上描绘电路设计图的碳粉转印到电路板的覆铜面上。（4）停止加热，待到电路板冷却后，用清水轻轻地洒在铜版纸上，让水慢慢浸透铜版纸，注意尽量避免水流到铜版纸和电路板之间的缝隙中去，造成碳粉的脱落。待到铜版纸基本上湿透后，用手指轻轻地揉搓潮湿的纸面便可以将所有的铜版纸渐渐地搓掉，而设计好的电路布局的碳粉则可以很好地附着在覆铜板上。之所以选择打印在铜版纸，是因为其表面层很少有长的植物纤维，相对于普通的打印纸容易搓掉。（5）待到表面的铜版纸都搓干净后，便可以将电路板放到腐蚀液中腐蚀了。（6）腐蚀好后将电路板取出，洗净表面的腐蚀液并钻孔，最后在铜箔面用松香水刷一遍，这样既利于后面的元件焊接，又可以很好的保护电路板的覆铜面，不至于时间久了生锈坏掉。等到松香水晾干后便可以进行元件的安装焊接了。

6. 本制作中采用的红外遥控器为早期牡丹电视机配套使用的型号为“MDY-7”的遥控器，其内部采用的芯片型号为SC9012或TC9012系列。利用其音量加减键控制功放的音量大小，静音键实现功放的静音功能，利用其数字选台按键1~4数字键来对应选择四路音源。一般来说，只要是内部采用相同系列芯片的遥控器都可以和本制作的程序配套使用，只是相应按键的功能可能需要适当地调整。

整个制作完成后，利用HP台式电脑主机主板的集成声卡做音源，驳接本功放，音箱使用自制的三分频12英寸低音倒相式音箱。试听从网上下载的龚玥的高品质无压缩歌曲《走天涯》，感觉高音细腻、通透，中音甜美、圆润，低音清晰、丰满，其对音乐信号巨细无遗的出色表现力，完全让人陶醉其中！试播电影《怒海争锋》，片中海战时震天动地的炮声效果被表现得淋漓尽致，让人可以充分感受到海战现场空气的震颤和紧张以及窒息的氛围。制作中虽然没有大量使用发烧级元件，但是因为整个制作过程对电路的选型和制作细节都尽量追求“完美”，所以最终收到如此好的效果，还是令人非常满意的，可以说是发了一次既经济又有意义的“烧”吧！

◇梓门

摩改 Denon UPO-101 纯后级

要想获得自己理想中的音响，无非三个途径，最昂贵的是向有实力的制造商定制一个，即便是骨灰级的发烧友一般也不这么做，因为这太昂贵了(当然这不包括根据现有厂机进行简单定制的产品)，其次是自己制作，有技术和动手实力的焊机派偶尔会这么做，但是这太耗费精力了，还需要太多的必要工具与设备，其三是拿现有的厂机进行摩改，焊机派比较乐于这么做，器材派只要稍有动手能力的，也偶尔会这么做，虽然有时候不能完全达到自己的理想，但是这个方法多快好省。很多制造商会提供产品的定制服务，但是根据已有厂机的定制产品，即没有动手的乐趣了，定制的范围一般也很有限。

笔者一直想有一款自己的PC功放，性能好的体积大，体积小的又不满意其性能。一个偶然的机会碰到了Denon(俗称“天龙”)的微组(微型组合音响)D-101，马上眼前一亮，音频放大器部分所用的前后级分体式设计可是在标准音响产品也不常见的。尽管“分体式功放一定就比合并式功放的性能要好”这样的说法有些绝对了，但是分体式设计至少给提高性能创造了比较有利的条件。

D-101是四件一组的微组型号，它包括CD机UCD-101、盒式磁带卡座UDR-101、前级UTP-101、后级UPO-101和音箱USC-101。笔者拿到的D-101是日本国内版本的，供电电压是100V，因此功放部分的摩改就成了重点。

改电源

市售的市电电源变换器首先是有明显的噪声，即哼声，高档的产品可以做到没有可闻的哼声，但价格会比较高。其次，一台功放如果采用两重市电电源，即市电电源变换器和功放本身内部的电源变压器，则增加耗电，也不太环保，因此换电源变压器是比较理想的方法。

要换电源变压器，首先要熟悉功放内部的结构，重点是变压器的结构、安装尺寸和次级输出电压是否符合条件，个头不能太大以免装不进去，次级电压可以略低，但最好不要偏高，原因在下文中具体说明之。

至于原机是环牛（环形铁芯电源变压器，也简称为环形变压器）和E牛（EI形或者EE形铁芯变压器）以及R牛（R形铁芯变压器）、C牛（C形铁芯变压器）、O牛（O形铁芯变压器）并不十分重要，这是因为，在理论上除了E牛，其他类型的变压器虽然都有体积小的优势，但是功放中常用的就是E牛和环牛两种。由于环牛的铁芯容易饱和，因此比较正规的制造商选用功放用环牛时，通常都会选择规格大一些的，最终在体积上和E牛的差异并不大，除了安装位置很难完全相同以外，机内空间一般是够用的。

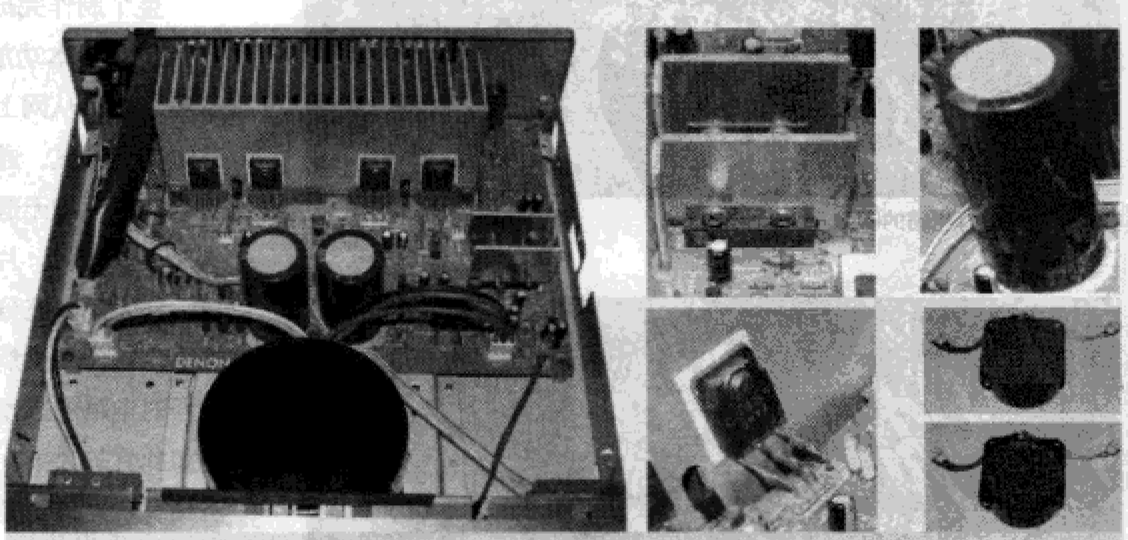


图1 UPO-101的内部结构照片

先来看UPO-101的结构布局（见图1）。UPO-101的电路和器件可以用“日化电容、NEC驱动、三肯管”来概括。日化(日本化工)现在的公司名称为“nippon chemi-con”，虽然目前在音响圈不太知名，在电脑板卡行业却是有名的。日本三肯公司的音响功率管也不如过去知名了，总体性能却也不输于东芝公司，且可选择的范围要大得多。

UPO-101的电源变压器做工算是比较好的，就像图1中的细节图显示的那样，带屏蔽罩的环牛，不但内部灌注了树脂材料，底部还加装有灰色的矽钢片进行完全的屏蔽。尽管工作时有轻微可闻的哼声(或许是因为时间长了，原来并没有也未可知)，如果不是市电电压规格不符，笔者是舍不得换掉它的。

用调节至100V的自耦变压器给UPO-101供电，在接有负载(标称阻抗8Ω的音箱)但是没有音源信号输入的条件下，实测的次级输出电压为36.5V，整流滤波后的直流电压约为52V，已经比较接近主滤波电容标称的耐压值。

目前市场上售卖的电源变换器都是220V变110V的，虽然可以适用90～120V的用电设备，但还是有隐患的。如果用户所在地的市电刚好是220V，那么经过这样的电源变换器后，就相当于是用110V的市电供电，UPO-101变压器次级的输出端电压就会上升至40V，整流滤波后的直流电压就是56V，对主滤波电容而言，耐压裕量就完全没有了。

这对于市电电压经常等于或低于标称值的地方，问题不大。但是对于有些地区，例如笔者所在地区，市电通常都在230V左右，这个电压值并未超过220V±5%的标准，但是上述电源变换器就不太安全了，如果要用的话，将主滤波电容改为63V或者80V才是合理的。另外，也不能接比标称值低的负载，对于UPO-101而言，适用的负载为4～8Ω，就只能用6～8Ω，否则功放容易保护。如果保护不力，挂机的可能性就比较大。

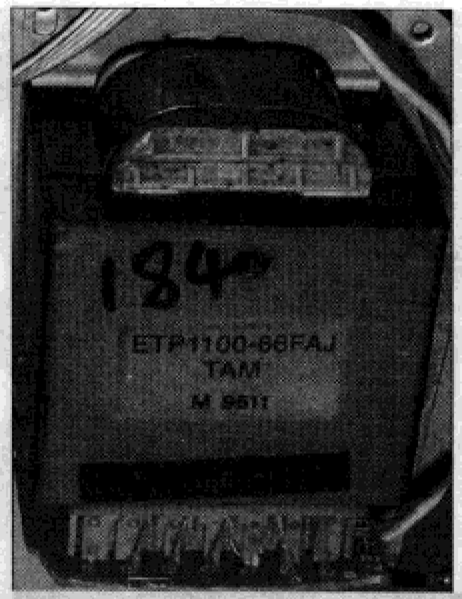


图2 E牛的照片

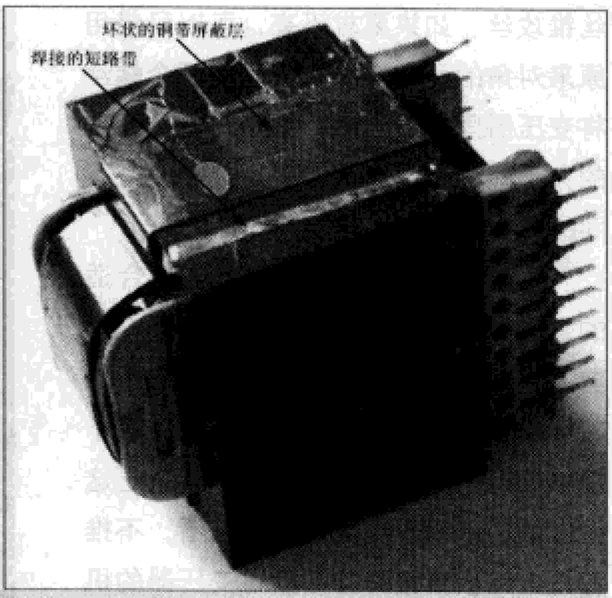


图3 没有屏蔽罩的E牛照片

换变压器的话，目前在市场上要买到没有可闻哼声的电源变压器是比较困难的，即使有，价格也都偏高。自己绕变压器是比较保险的办法，但是笔者不擅长这个，于是就选择买一个二手的进口厂机变压器进行替换，考虑到笔者居住地市电电压偏高，笔者选择了一款功率、外形大小相似，次级输出为32.5V的进口二手E牛（见图2）。这并非是笔者崇洋媚外，国外的厂机能辗转来到中国，一般都是性能不错的，否则就没有流转的价值了，其次，卖家费力气将其中一部分电源变压器拆下来卖，价格又不能高于国内新品，如果性能太差，也不值得去做这个事情。当然，买之前和卖家说好相关事项也是必须的。其实采用环牛也是可以的，只是笔者刚好没有找到合适的而已。

这款E牛的主输出(大功率输出绕组)是两组独立的32.5V，如果想玩双桥式整流电路也是完全可以的，不过这种方式的效果是有争议的。除此之外，这款E牛还有两组小功率的副输出，一组双17.5V，一组双2.9V。不难看出这款E牛原来用于合并式功放的，而且还可能是VFD (Vacuum Fluorescent Display，真空荧光显示屏)显示的，因为VFD需要2～5V但电流比较大的电源，抑或是有数字电路的。

不管怎么说，合并式功放对变压器的屏蔽要求一般比分体式功放高，用在这里应该比较合适。从图2也不难看出，这款E牛局部是有矽钢片屏蔽罩的，而且，绕组外面有铜带作为屏蔽层，这在一般市售产品上很难看到。如果去掉矽钢片屏蔽罩，还可以看到，其日型铁芯的矽钢片之间进行了短路焊接（如图3所示），这种做法有利于减少哼声和干扰，但是会增加静态功耗。

实际使用时，这款E牛偶尔会有可闻的轻微哼声，但总体上要比原来的环牛要好，尤其是装好机壳后，有哼声时，在安静环境下，耳朵贴着机壳也不容易听到。当然，这和机壳的结构也是有关的。

在本例中，双17.5V也可以给保护电路供电，因为输出回路的继电器是24V，但供电是从+52V降压得到的，既不环保也不安全(功放电路有故障时会影响保护电路)。用双17.5V的其中一组全桥整流滤波后，电压刚好合适。不过，考虑到继电器的耗电量不大，也避免画蛇添足、节外生枝，这次摩改就没有实施这个想法。

图3所示E牛的安装尺寸与环牛原来的安装尺寸相近但并不相同，理想的方法是借用其中的1个安装孔，其余3个用电钻重新打孔。原配的固定螺丝是M4的，用直径3.2的钻头打孔，用电动螺丝刀可以直接将M4的螺丝拧进去，不需要再用

丝锥攻丝。如果要求不高，可以只借用原来对角的两个螺丝孔，只用两个螺丝将变压器固定。当然，这是对本例而言的，不同的变压器尺寸不同，需要有不同的方法。

再就是接线端子，如果没有合适的，将原变压器上的接线端子连线一起剪掉，接到新变压器上即可。如果不想破坏原变压器的接线，可以用接线端子规格相同的接插线代用之，笔者就是这么做的。从易于维修的角度来看，不推荐与电路板直接焊接。换过变压器的机内情况如图4所示。

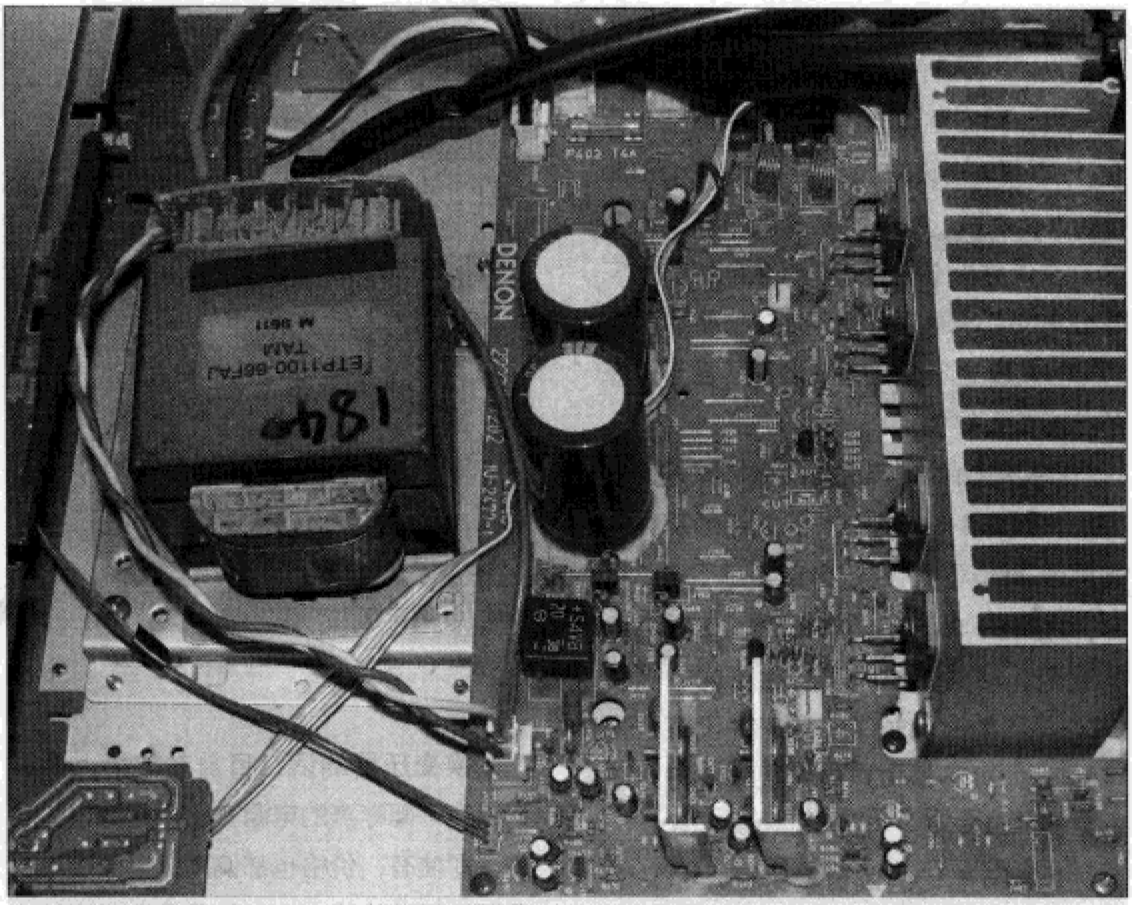


图4 换过变压器后的机内照片

换驱动IC

UPO-101的功率放大电路采用驱动IC+输出级晶体管的架构，所用驱动IC为NEC的μPC1225H。驱动IC决定了功放电路的电压增益和失真、噪声等主要性能，输出级晶体管和电源电压共同决定了功放电路的功率输出能力和输出阻抗。

专门用于音频功放的驱动IC并不多见，常见的还有ST的TDA7250、松下的AN7070、SANYO(三洋)的STK3042以及近期NSC(National Semiconductor Corporation，国家半导体公司)的LME49810等。在上述驱动IC中，NEC驱动IC的性能算是比较好的，在中高档功放中的应用是比较多的。

之所以想到要换驱动，一是因为NEC的驱动IC除了μPC1225H，还有μPC1270H、μPC1298V、μPC1342V等，它们的内部等效电路(见图5)和基本性能都相同，它们的差异在于驱动能力。就引脚和封装而言，μPC1225H和μPC1270H、μPC1298V和μPC1342V是两两相同的(见图6)。就驱动能力而言，μPC1225H和μPC1270H是相同的，μPC1298V则比μPC1342V小一些。

驱动IC的驱动能力越大，实际的性能就要好一些，这是因为尽管它们的标称技术参数是一样的，但是这些技术参数都是在一定输出功率条件下测定的。驱动能力越大的驱动IC，在标称的失真条件下，实际的功率能力也越大，这可以从附表体现出来。

其次是笔者手中刚好有μPC1342V，何乐而不为呢。当然也可以用最近的LME49810来替换，但电路的改动就比较大了。

虽然μPC1225H是单列12引脚的SIP-12T封装，

附表 μPC1225H和μPC1342V的主要技术参数

项目			μPC1225H	μPC1342V
驱动IC的技术参数	工作电压范围	V_{CC}	±18～36V	±20～52V
	工作电压推荐值		±36V	±46V
	总静态电流	I_{CC}	20mA	
	最大输出电平	V_{OM}	20V@36V，0.05%	25V@46V，0.05%
	IC增益带宽积	P_{BW1}	900kHz@V_O=1.5V，-3dB	
	闭环增益	A_V	26～30dB	
	输出噪声	V_{NO}	70μV	
	电源纹波抑制比	SVR	70dB@f=1kHz	
	封装		SIP-12T	VDIP-14T
IC+输出级晶体管的技术参数	输出功率推荐值	P_O	50W×1	110W×1
	总谐波失真+噪声	THD+N	0.002%@30W，8Ω	0.002%@80W，8Ω
	增益带宽积	P_{BW2}	90kHz@P_O=25W，THD=0.1%	

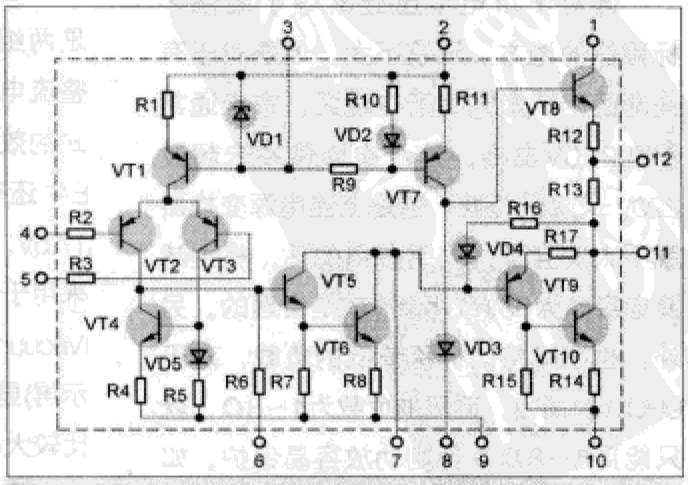


图5 μPC1225H的等效电路图(省略了内部的保护电路)

μPC1342V是双列14引脚的VDIP-14T封装，其中的T表示有裸露的散热片，但是它们的引脚都是在同一侧的，而且μPC1342V的最后两个引脚是空脚，它们的1～12引脚的功能也是完全一样的。也就是说，除了散热片、封装本体和引脚间距略有差异，就只有图5中的VT8、VT10有差异了。

这样一来，μPC1225H和μPC1342V的代换就比较简单了，首先是将μPC1342V的13、14脚去掉，然后是用镊子或者其他趁手的工具将μPC1342V的引脚压平成一列。由于μPC1342V的引脚间距是1.7mm，比μPC1225H的2.54mm的引脚间距要小，好在相差不大，所以还要用镊子对照印制板上的安装孔，将μPC1342V的引脚以6脚或者7脚为基准，向两侧适当掰开，能插到印制板上的安装孔即可。接下来是在散热器上根据μPC1342V摆好的位置用电钻打一个直径2.2mm的孔，将μPC1342V固定到散热器上，最后的工作就是焊接了。

当然，μPC1225H和μPC1342V的内部实际电路可能存在未公开的差异，但是从一般规律而言，功率越大的功放，对驱动电路的要求越高，因此，即便存在差异，将μPC1225H换成μPC1342V也是有益无害的。

电容和静态工作点的复核

对于二手功放而言，电容和静态工作点的复核是非常必要的，即便是听感无异也是必要的。

电容的复核主要是估测一下是否老化了，最重要的是主滤波电容，如图2的右上角所示。在业余条件下，首先是从外观上看一下，有无“鼓包”等异常，其次是断开电容的一个引脚或者干脆卸下来，用万用表或者电容表简单测量一下容量，笔者用的是新购置的电容表，最大可以测20000μF的电容，实际测量的结果是8350μF和8400μF，比较令人满意。如果有ESR（Equivalent Series Resistor，等效串联电阻）表和晶体管耐压测试仪，应该分别测量一下ESR值和耐压情况。

一般的万用表，无论是指针式的还是数字式的，电容挡一般是不能测量大电容的，这时只能用指针式万用表简单测量一下电容的放电情况了，就是先将电容的两脚短路一下，目的是放掉电容可能存储的电能，然后用万用表的欧姆挡来测量电容，观察指针回到归零的情况，电容的容量越大，选择的挡位越要低。

除了主滤波电容，输入耦合电容也应该用上述方法测一下。如果复核之前的听感无异常，上述关于电容的复核就大致可以了。

静态工作点的复核包括输出中点电压和输出级的静态电流两方面。UPO-101有完善的保护电路，如果听感无异常，就说明输出中点电压至少是在保护阈值之内的。测量的方法也很简单，在不接信号源的情况下，用万用表mV挡的最小挡位测量功放的输出端。UPO-101的实测值在6至8mV中间，是合理的，一般在50mV以内都是可以的。输出中点电压是由图5中的差分输入级VT2、VT3和它们的偏置电路VT1、VT4以及R1、R4、R5、VD5决定的，如果输出中点电压过高，只能通过更换μPC1225H来解决。

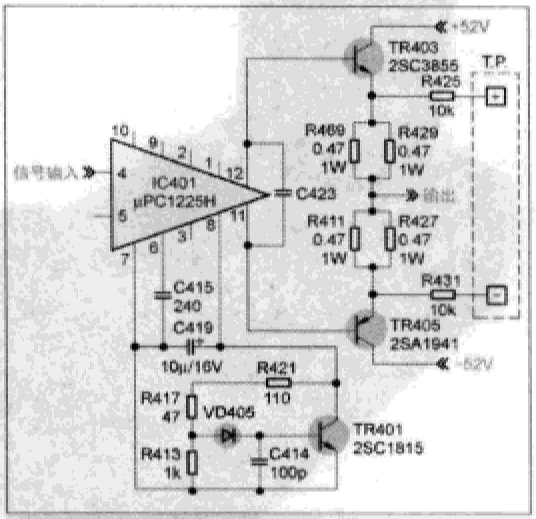


图7 UPO-101功放电路原理简图

静态电流是通过测量输出级晶体管发射极电阻的压降来计算的，UPO-101的印制板上预留了测量端子，如图4所示，两个通道各有一个三端子的小插座，旁边有T.P.的印字，在电路板上是比较容易找到的，中间的一个引脚是空脚，因此只需要用万用表的mV挡测量其余两个引脚就可以了。

需要注意的是，这两个引脚测量的是输出级上、下管的发射极电阻压降，如图7所示的功放电路简图中的R469和R429(上管)、R411和R427(下管)所示。实测的数值为6mV。发射极电阻是两个并联的，因此实际的阻值是0.47÷2＝0.235Ω，上管和下管的发射极电阻的阻值是两者相加，即还是0.47Ω，根据欧姆定律不难算出静态电流：6÷0.47≈12.8mA。

输出级的静态电流是由μPC1225H的内部电路和外置的偏置晶体管TR401决定的，调节R413就可以调整输出级的静态电流。静态电流调大一些，有利于减小失真，但是考虑到输出级晶体管的散热器不易更换，因此只能适当调高一些，具体的需要根据使用环境的温度来考虑。

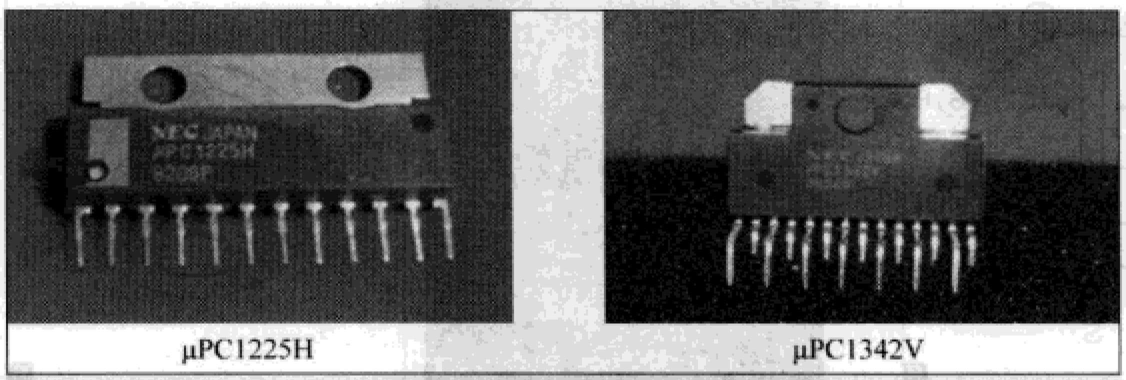
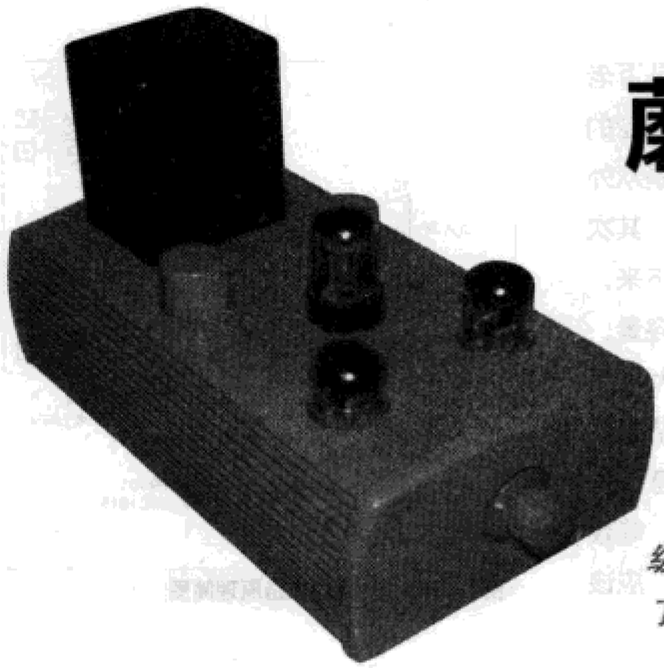


图6 μPC1225H和μPC1342V的实物照片



蘑菇头7F8W+坡莫合金牛输出胆前级的制作

◇夏冰

偶然之间拜读了顾天顺老师的《用7F8W和合金变压器制作牛输出胆前级》的文章，正好本人在矿石收音机论坛收购了一对7F8W胆管，因此便萌生了制作一部牛输出胆前级的想法，也就诞生了这篇文章。

主要元件介绍

1. 双三极电子管7F8W

本胆前级使用的电子管7F8W，外观及引脚如图1所示，采用的是锁扣式小八脚封装形式，外形就和直热式功率管4P1S一样，但比4P1S要矮许多，看上去非常可爱。笔者也以非常低的价格收购了两只，只可惜是高矮不一样，这也是没办法了，等有时间再给它配成对吧。根据7F8W的资料介绍，它主要适用于高频段的通信和电视接收，工作频率高达400MHz，是旁热式双三极电子管。

2. 坡莫合金变压器

本前级的另一主角就是坡莫合金变压器，如图2所示，此变压器是笔者在无意之间从朋友那里淘得的，据说是从古董调音台上拆下来的，交流阻抗比为600:5k，1-3（2-4）端输入1V时，6-7端输出5.7V，1-4端（2+3）输入1V时，6-7端输出2.85V。坡莫合金最大的特点就是具有很高的弱磁场导磁率，它的饱和磁感应强度在0.6～1.0T，使用坡莫合金铁芯绕制输出变压器最大的好处就是能以较少的线圈匝数获得较大的电感量，另一方面，较少的线圈匝数也容易减少变压器分布电容和降低漏感。

电路设计

放大电路如图3所示，电路采用最常用的SRPP电路形式，其相关的电路已在多种电子书刊介绍过，在此就不做过多的介绍了。电路十分简单，每个声道用一只7F8W构成SRPP电路，放大后的信号经C2、C3耦合至坡莫合金牛的一次侧（6-7端），二次侧为音频信号输出侧（2-3端短接，1-4端输出）。电源电路如图4所示，电源变压器采用的是上无27厂的DB-45-160型电源变压器，其电气参数：高压双230V/60mA、6.3V/0.7A、双3.15V/2.5A，正好应用在本前级上。其高压整流电路非常简单，电源变压器输出的双230V经双二极电子管6Ц5C整流后，由CLC滤波电路输出稳定的300V直流电压，供整机工作。由于SRPP电路上边接电源电压那只管子其阴极对地电压约为电源电压的1/2，即150V左右，灯丝绕组的抽头如果直接接地，极易造成7F8W阴极与地之间放电打火，因此加入了电阻来“垫高”灯丝绕组的中心抽头对地的电压，以此保证该管阴极与地之间的压差在安全范围之内。

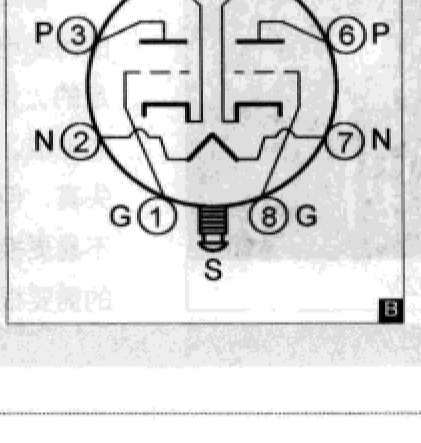


图1 7F8W外观、引脚

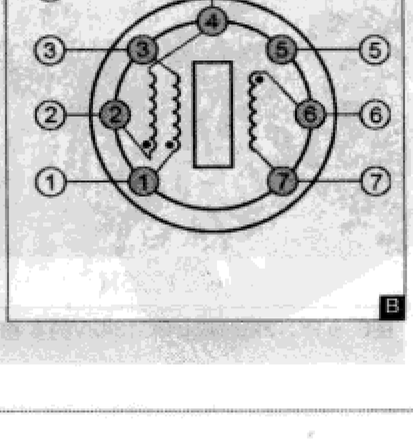


图2 坡莫合金变压器外观、引脚

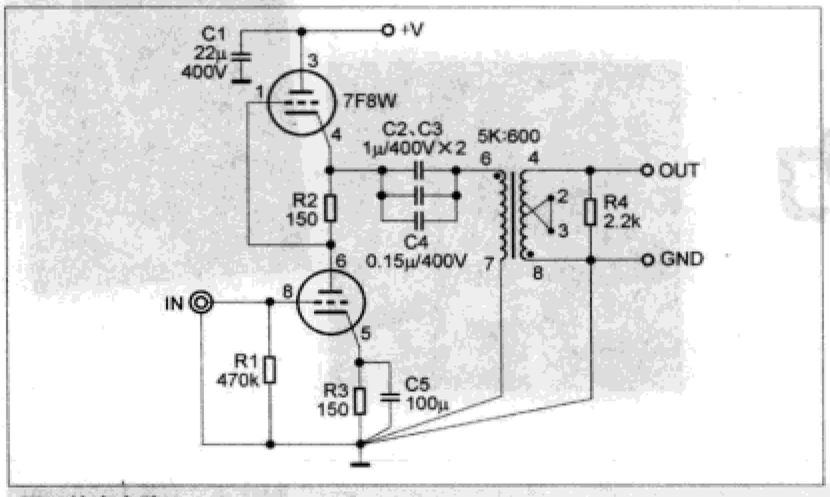


图3 放大电路

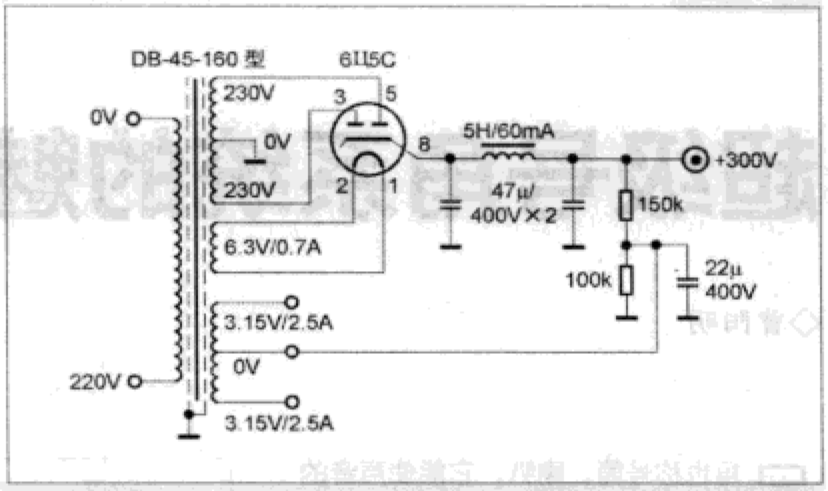
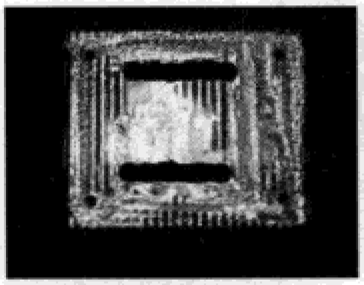
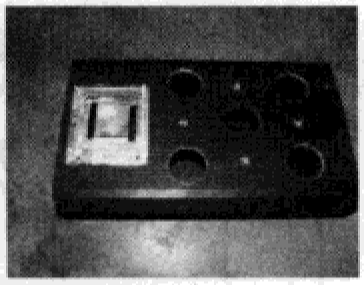
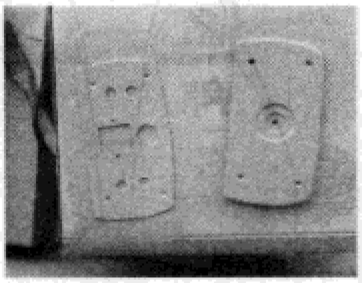
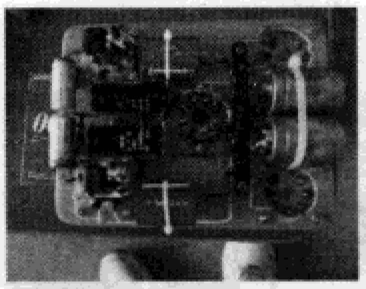


图4 电源电路


A 车床铣出的电源牛安装座


B 开好孔的整机外壳


C 前后面板喷漆


D 搭棚架衬板背面图

E 搭棚架衬板正面图

F 整机俯视图

G 整机前视图

H 整机后视图

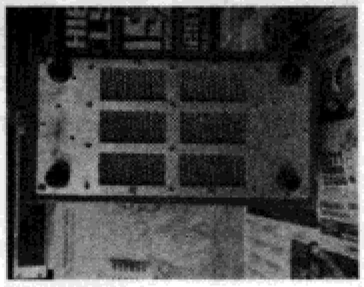

I 整机底视图

图5 制作实物图

图6 试音碟图片

元件选取

坡莫合金牛在前面已经介绍了，故不再赘述。耦合电容C2、C3、C4选用的是两个RIFA MKP薄膜电容和一个进口拆机的纸介电容，7F8W的阴极电容是RIFA轴向电解电容，电位器是进口拆机的NOBLE，电阻全部都是国产的铜脚大红袍金属膜电阻，整流管是前苏联的6Ц5C，电感是拆机的5H/60mA，滤波电容是飞利浦蓝六角。

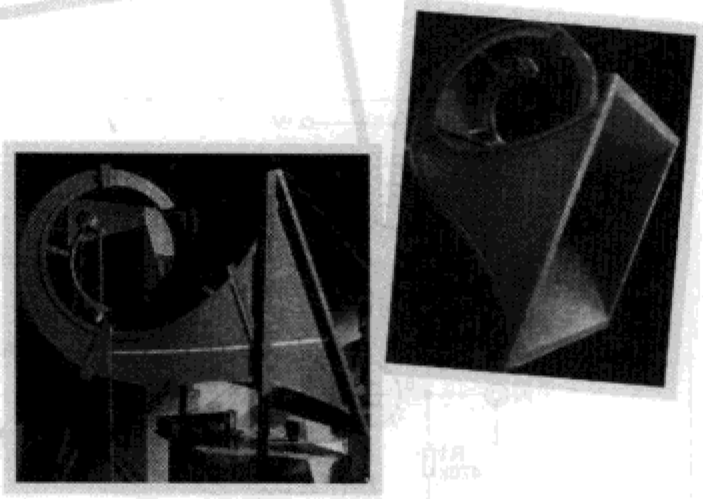
机器制作

整机外壳是采用的电动叉车控制器外壳，经过合金开孔器开出电子管孔、变压器孔，用简易机床铣出电源变压器安装孔，如图5所示。前面板采用10mm经抛光处理的铝板，然后用中灰色自喷漆处理外观，最后再喷一遍清漆，以保护外观光亮。整机线路采用手工搭棚焊接，并且左右电路对称设计。

试听

试听的音源采用的是CDM4光头的CD机，自加同轴输出，解码器是山灵的SDAV-2010，功放是自做的6SJ7+6L6GC胆机，音箱是史云威格的E310落地箱，灵敏度为93dB。试音碟为荣获1998年全日本第五届职业音乐录音大奖的《竹竹》和莎拉·布莱曼的《冬日交响》，如图6所示，试听后感觉低音有力、中高音清脆，没有那种拖泥带水的感觉，让人有一种心旷神怡的快感。特别是在听《竹竹》的第二首时，低音的浑厚感收放自如，的确对得起7F8W的参数，确实没有令人失望。虽然没有太宽的频响、大范围的动态效果和优秀的保真度，但它的确对音频信号有一种特殊的修饰作用，值得你去领略一下其魅力所在。

超级号角系统的魅力

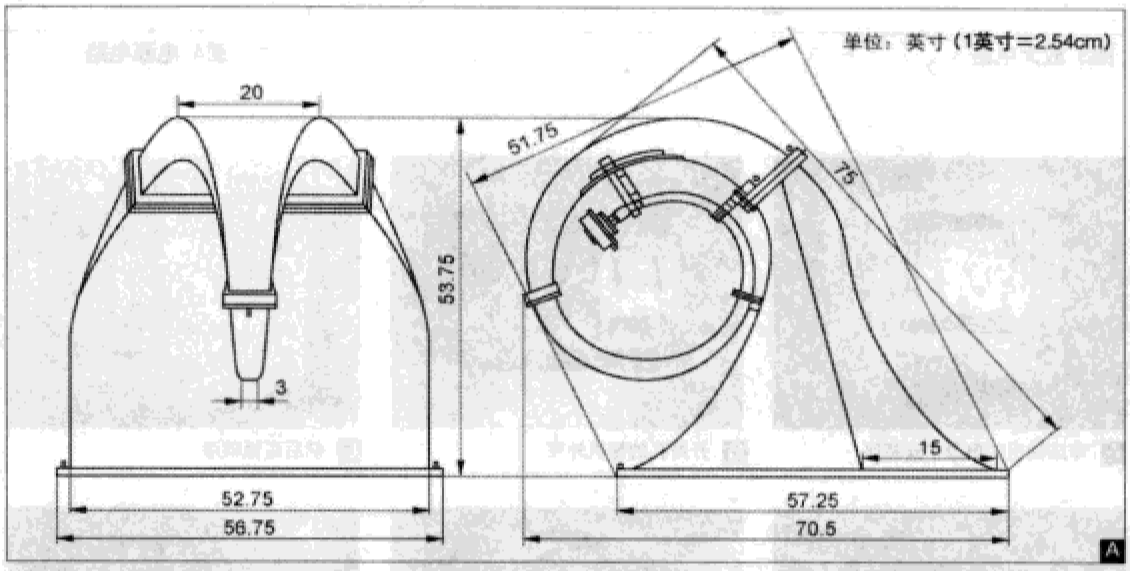


◇曾阳明

号角也称号筒、喇叭，它能使声音的能量更集中，使其传播得更远，目标更准。人类早就对号角有了一定的认识：亚历山大皇帝在征战中就使用一个特大号角发号施令，中国古代军队中也频繁使用，诗人们留下的诗句“轮台城头夜吹号”，“角声满天秋色里”就是对号角使用的很好写照。在扩声领域，号角系统的使用更为广泛，早期的号角扬声器系统用于剧场和影院的扩声，就像早年的Western Electric、ALTEC Lasing以及后来的JBL等公司都曾大量开发号角扬声器系统来满足剧场、影院的需求。

普通扬声器系统由于辐射声阻抗不大，所以效率很低，号角系统实际上是一个截面积变化的管子，可以增加声源的辐射阻抗，使扬声器获得更高的效率。图1所示的是Western Electric公司开发的WE15A弯曲号角，配合WE555中频驱动头，发出150Hz～5kHz频段的声音。当时一只这样的号角系统施以几瓦的功率就能满足一个普通电影院的扩声需求，可见其效率之高。

号角扬声器系统在远距离扩声方面有着明显的优势，在影院中更是不可缺少，它可以轻而易举地营造出惊心动魄的气势，只是在普通家庭中使用这种号角扬声器系统的人极少。究其原因，除制作复杂、造价昂贵以外，最重要的是一般家庭根本容纳不下如此的庞然大物，因此众多音响爱好者（包括本人）都没有亲身的体验。为了让大家能够感受号角的魅力，我们北京音响爱好者联谊会几名主要会员开始了超级号角系统的制作历程。



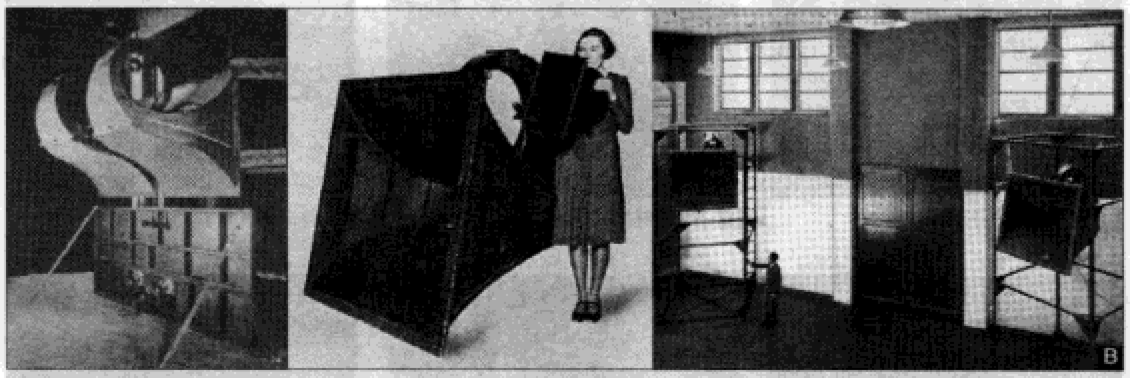


图1（A） WE15A号角的外形尺寸　（B） WE15A号角的宣传图片

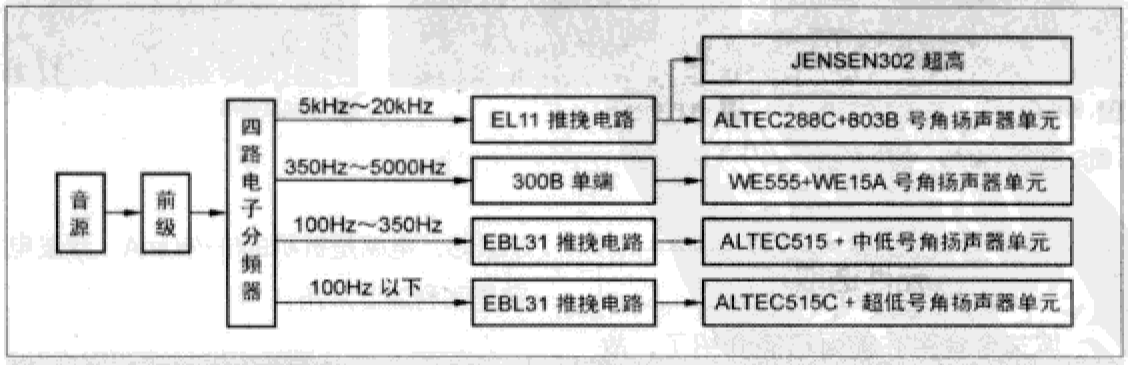


图2 超级号角系统的构成框图

我们的超级号角系统的构成如图2所示，其中的电子分频系统将信号分为5路。

前级、电子分频、功放这几部分全部由本人制作，前级为仿马兰士7前级电路，电子分频器仿马兰士3的电路，使用了2套4路输出，扬声器系统实际分为5路，下文分别介绍。

100Hz以下的超低频部分

扬声器单元为ALTEC515C，号角为前加载号角，后腔体为密闭，容积为280L，长度为4.8m，水平展开面近似于指数的曲线，具体尺寸如图3所示。

号角部分用18mm的澳松板制作，分4节组成，图4所示的是组装起来后的样子，后来为了降低共振，在号角的内部支撑了若干十字架。

开口面积之比：$S1/S0=(1.4m\times1.2m)/(0.256m\times0.38m)=17.3$，其中$S1$是最大开口处面积，$S0$为最小开口处面积。

号角截止频率是由公式计算：

$Fc=340/[4\times3.14\times4.8\times\ln(S1/S0)]\approx340/(4\times3.14\times4.8\times2.85)\approx2$（Hz）

号角扬声器有如此低的截止频率足以应付市面上所有的低频单元，图5所示的是使用Pioneer公司制造的TAD1601低频单元测得的频响曲线，在20Hz处没有衰减。只是为了音色上更匹配，中低频我们使用了同规格的ALTEC515C，驱动选用EBL31推挽电子管功率扩大器，输出功率为10W。

100Hz～350Hz的中低频部分

扬声器单元采用的是ALTEC 515，其外观如图6所示。

号角为前加载号角，后腔体开放，用棉被做吸音，整体结构为号角障板的形式，具体尺寸如图7所示。

驱动同样为EBL31推挽电子管功率扩大器，图8所示的是分频点在100Hz时超低频与中低频衔接的情况。

350Hz～5kHz的中频部分

驱动头和号角都为美国Western Electric公司的WE555和WE15A号角，号角为复刻，外观如图9所示。

WE555驱动头的磁路为励磁，需要7V 1.5A的电源，图10所示的是我们制作的WE555的励磁供电系统，使用低压大电流的电子管EQ1-6/0.325作整流。

驱动为300B单端电子管功率扩大器，输出功率8W。图11所示的是测试WE555在WE15A号角上的频响曲线。

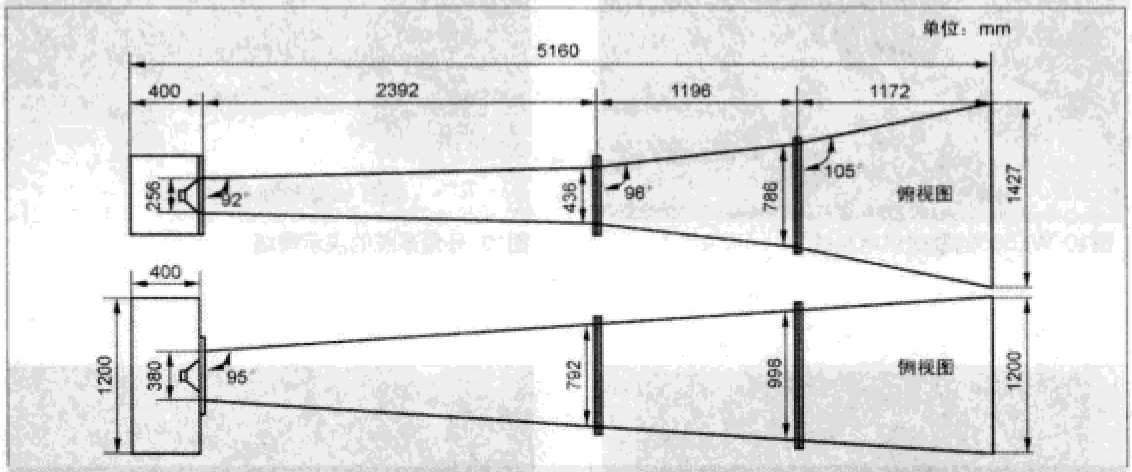


图3 超级号角的外形尺寸

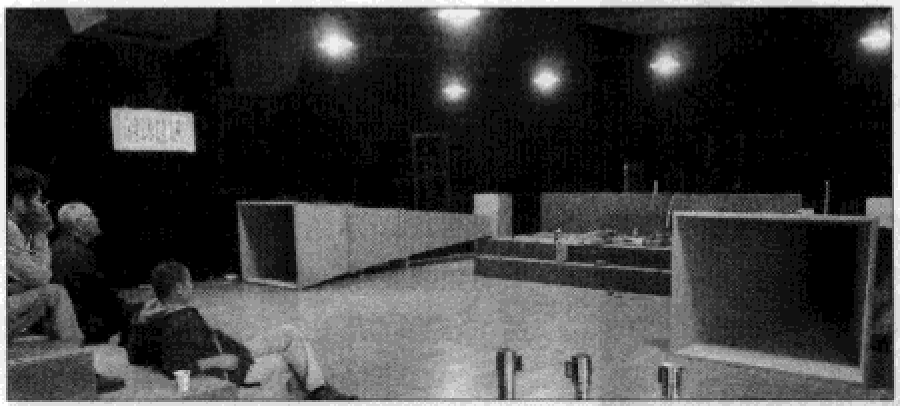


图4 超级号角系统的现场展示

图5 TAD1601低频单元的频响曲线

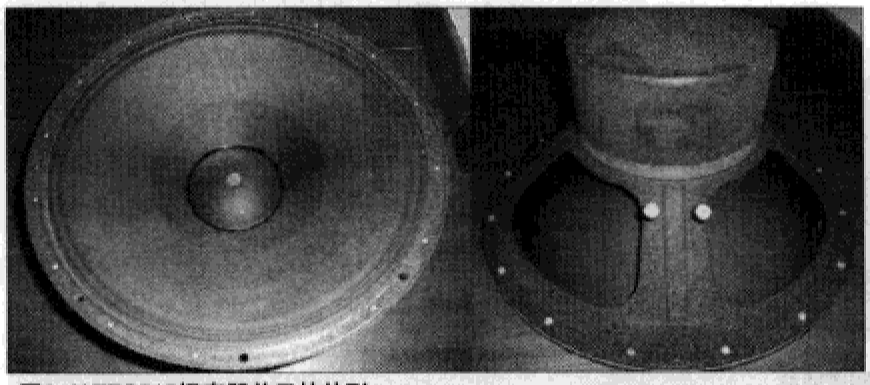


图6 ALTEC515扬声器单元的外形

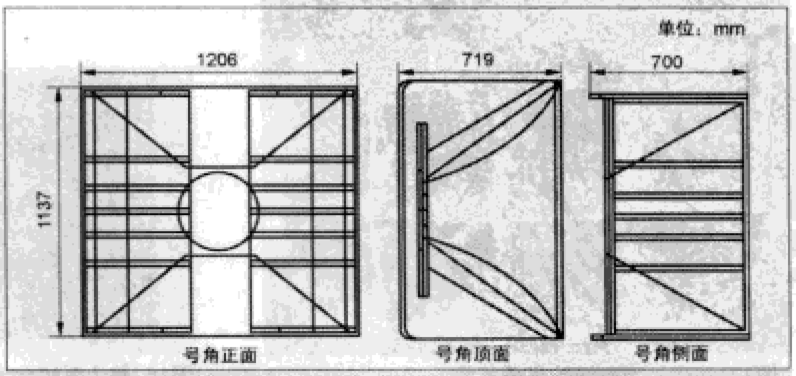


图7 ALTEC515扬声器单元的外形尺寸

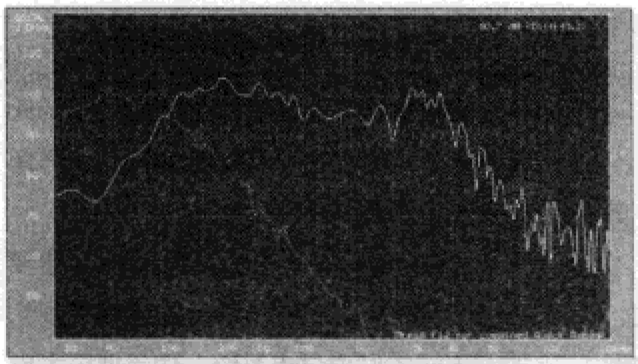


图8 分频点在100Hz时的情况

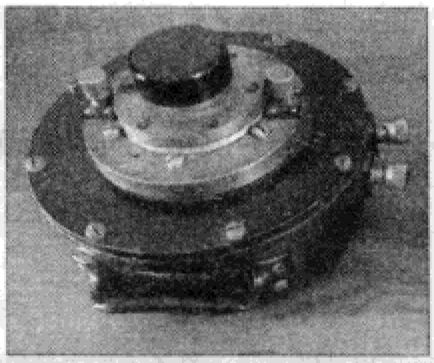


图9（a）WE555的外形

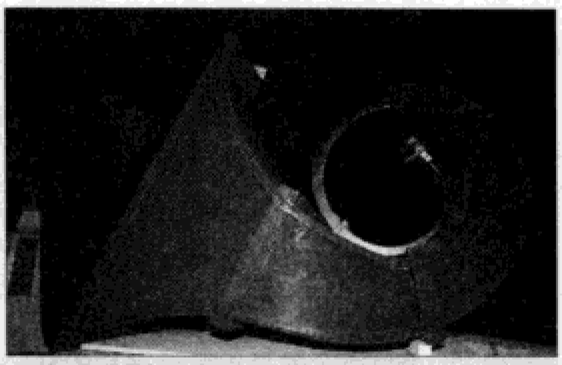

（b）WE15A的外形

图10 WE555的励磁供电系统

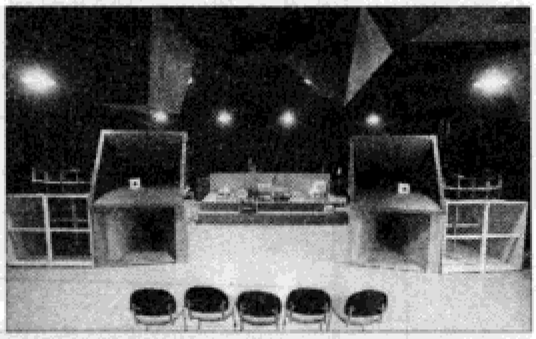


图13 号角系统的展示现场

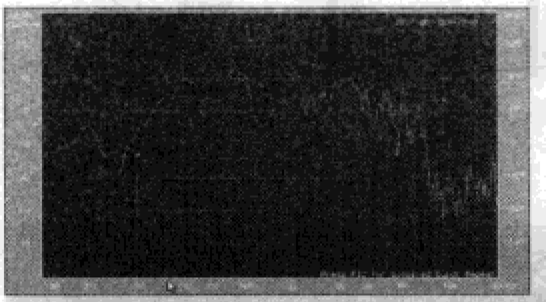


图11 WE555在WE15A号角上的频响曲线

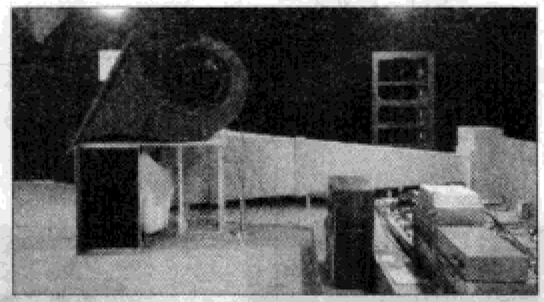


图14 展示号角系统的侧视图

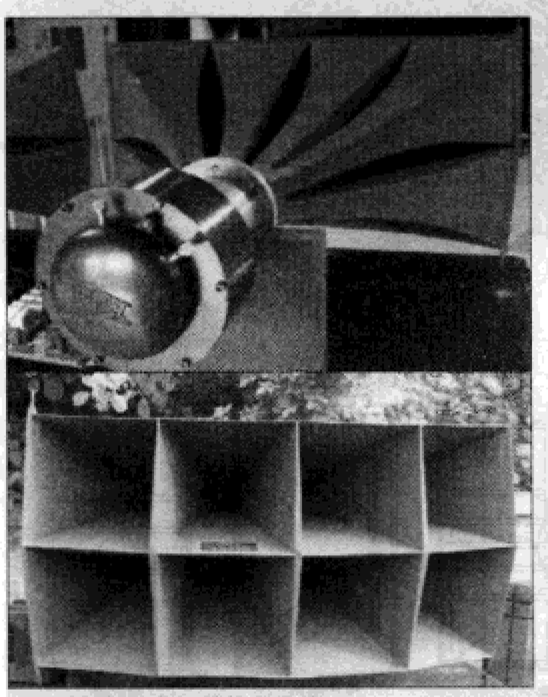


图12 超级号角系统的高频单元

图15 号角系统的驱动装置

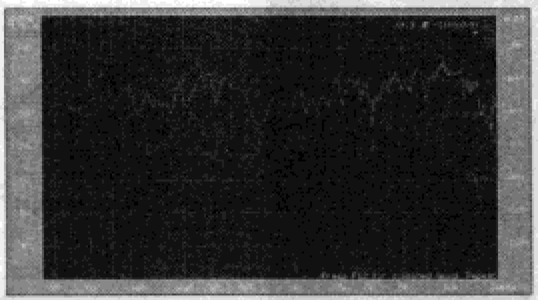


图16 整个系统合成后的频响曲线

5kHz～12kHz的高频部分

高频部分由ALTEC288C驱动头在803B号角担当，负责5～12kHz的频段，如图12所示，12kHz以上的频段超高JENSEN302负责，通过串联一个0.5μF电容的方式构成一阶功率分频，驱动为EL11推挽电子管功率扩大器，输出功率为10W。

这次演示的空间是一个长12m、宽11m、高4.8m的大听音室，面积为132m²，容积为630m³。如果不借助号角系统的物理放大作用，普通15英寸的扬声器单元的能量感是很难满足如此大的空间的，我们制作的号角系统在此取得了良好的效果。图13所示的是现场号角系统摆放的情况，图14所示的是侧面的情况。

图15所示的是号角系统的驱动部分：音源、前级、电子分音与功放。

图16所示的是测试整个系统合成后的频响曲线：能够满足20Hz～20kHz的-10dB频响范围。

2011年10月29日在北京音响爱好者协会举办的爱好者联谊会上，来自日本、中国香港、福建省、山西省、山东省、保定市、唐山市等地的朋友欣赏了我们的超级号角系统，到场的观众有70多人，无不为这套号角系统丰富的细节、宽松深沉的低频、充沛的能量所震撼。在北京音响爱好者联谊会上这次大型号角系统演示活动是非常成功的。通过大家共同参与制作，我们不仅增强了音响爱好者之间的联系，更重要的是通过团体的智慧与力量，感受了这古老而实用的号角系统的魅力所在。

◇李俊杰

完美的TPA6120超级耳机放大器

自从有了网络后，资讯的传播方式有了翻天覆地的变化，网上的资讯能不时给你意外的收获。两年前，偶然在网上发现了国外一个不起眼的小贴子。里面是一些DIY小耳放的精巧图片，耳放采用的芯片是TPA6120A2。这些制作激起了我的求知欲，于是便从官方的PDF说明中找到详细的介绍。就这样，我对这个芯片的兴趣越来越浓厚，只要你看了该芯片强悍的数据就知道原因了（因篇幅所限，该芯片的相关数据在此就不呈现，感兴趣的读者请在本刊网站上查看）。

笔者曾经是一个多年的玩家，但现在已经脱离DIY相当久，设计水平还停留在没有电脑辅助制作的年代。虽然自己非常想做一套TPA6120的机器，但无法一下子学会用电脑设计PCB。为了先验证一下TPA6120的性能，所以用万用板“洞洞”了两个验证版本来体验。其中一版是用单片TPA6120直接做驱动，音源信号通过电位器直接进入TPA6120。经过数天的试验，发现这个试验对于DAC这种低输出阻抗的音源很适合，简单的电路就可以得到很好音质表现。通过细致地阅读相关资料与多次的验证，发现电位器在不同的位置，对声音和噪声都有明显的影响。音量的变化，使TPA6120输出的直流电压差异很大。TPA6120最佳的工作状态是低阻驱动，保持输入端阻抗的不变。

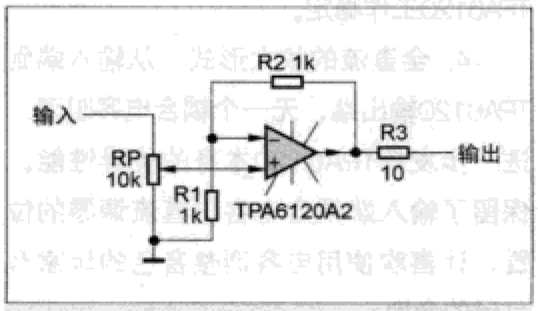


图1 第一个验证版的框图

图1所示的是TPA6120简单电路的简化原理图。RP是音量电位器，它的上、下臂变化会使TPA6120输入端的偏置电阻发生变化，从而让输出端的直流偏移也随之大范围波动，整体的性能受局限，不能很好发挥。

HA1.1版

第二个验证版电路如图2所示，即在TPA6120前增加了由两个JRC5534单运放组成的阻抗变换电路，起高入低出的连接效果，并隔离了电位器直接对TPA6120的影响。同时，改变R3、R4、R5和R6可以调整整个电路的总增益，而TPA6120固定为2倍增益。C3、C4是带宽限制作用，避免过高的频率进入TPA6120。这样就使TPA6120工作在一个相对稳定的工作状态，并由前一级来控制增益与音量，适配多种不同的音源，在架构上真正地走向实用化。为了适应不同耳机的灵敏度，设置了用JRC5534的反馈电阻改变整个电路的增益。TPA6120是一个电流反馈型（CFB）放大器，反馈电阻有一定的要求，不能有太大的变化。所以在这里只是起到一个增益固定为2倍（2X）的“缓冲”输出级作用。

很多DIY作品或厂机产品都是这种运

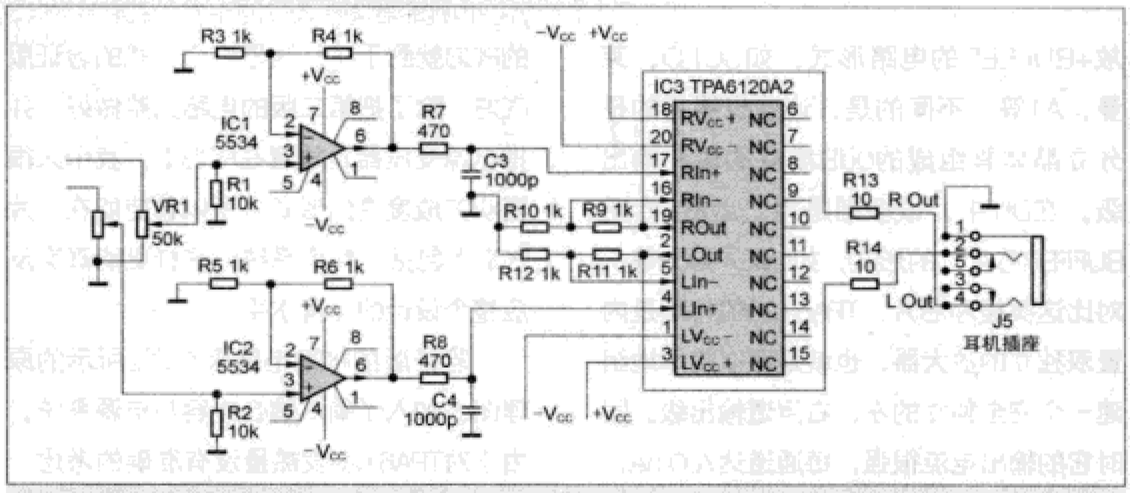


图2 第二个验证版电路

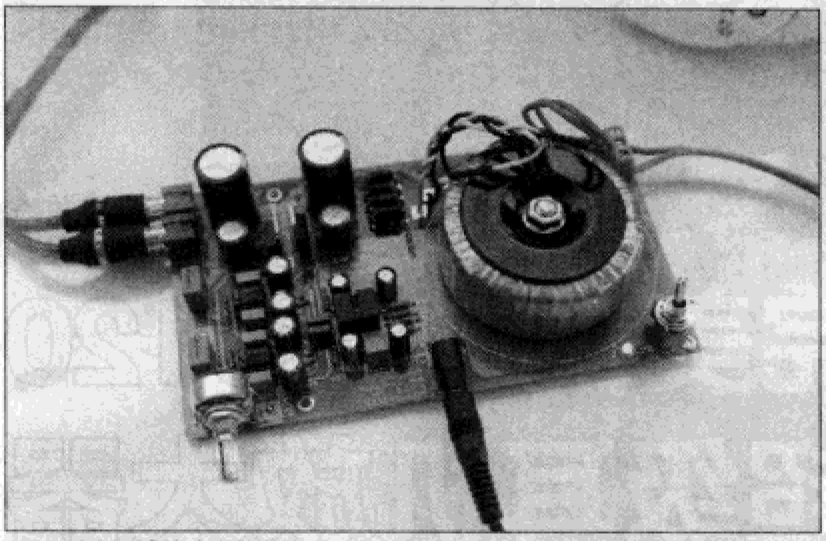


图3 正在测试的验证版电路

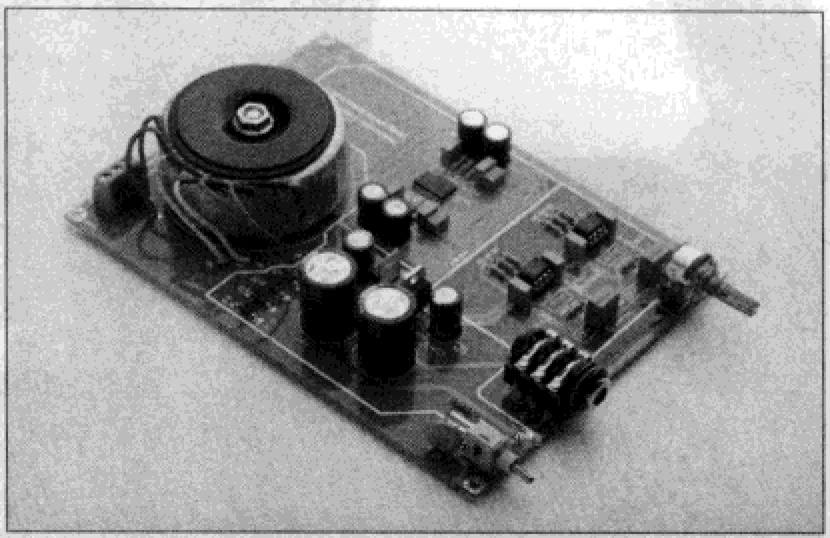


图4 HA1.1是正式的第一版，也是由图2的验证版电路而来，属于简洁的正式版本。重新为成品形式布局，性能达到了设计的要求，但功能比较简单

放+BUFEER的电路形式，如SOLO、莱曼、A1等。不同的是，这些机器用的是分立晶体管组成的0dB增益的缓冲输出级。在DIY中，很多则是用“运放+专用BUFFER芯片”的形式，如LME49600等。对比这类缓冲芯片，TPA6120的特点是内置双独立的放大器，也就是可以简单地组建一个完全独立的左、右声道输出级。同时它的输出电流很强，每通道达700mA，从能力上讲，它可以推动8Ω的小音箱。而LME49600是单通道，输出电流只有250mA。从参数上看，TPA6120的强悍性能是普通分立晶体管DIY无法比拟的。DIYer的条件有限，要想做分立晶体管的放大器，管子配对方面有很大的限制，整体电路达到的性能数据是无法与一个芯片来比较的。从质量与性能上看，芯片有着先天的优势，也让普通玩家能直接体验到这些优点。

在调试验证的过程中，也有机会找到网上一位朋友帮忙绘制测试PCB，不过始终不太如意。因为沟通与理解都是有距离的，别人是很难完整理解到你的想法。所以这个期间也开始学习使用软件来自己设计PCB。一来二去，毕竟只是工具上的区别，有设计PCB的基础与经验，软件是很容易上手的。在学习的过程中还是少不了为各种错漏交学费。很快第一片自己画的PCB就到手了。这是一个正式的验证版PCB。除了把第二版的电路完整做好，并把电源变压器也放置在PCB上。我个人很喜欢完成度高的形式，所以希望能在一片PCB上包括了整个系统，这样更能真实反应整个设计的真实水平。

验证版的PCB电路来自图2所示的原理图，加入了输入耦合电容与电源系统。由于对TPA6120发热量没有准确的考虑，铺铜散热面积不够、导热方式不合理，所以TPA6120的温度较高，但工作还很稳定（见图3）。

虽然说起来只有几句话，这个过程持续了一年有多。几个版的试验过程中遇到很多问题。洞洞板不利于最佳化布线，所以诱发了自激。TPA6120是一个比较有要求的芯片，相关的PDF文件明确提出了一些建议。所以第二版在试验的时候就解决了自激的问题。在自己设计的PCB试验板上已经做到不需要完全照搬官方建议的措施也能让电路工作在非常稳定的状态下。经过相关仪器与各种负载耳机的实测，电路的稳定性与性能都达到了要求。对于低端的16Ω的普通耳塞到高端的600Ω的专业耳机，都能稳定可靠地工作，芯片的温升很微弱，只比环境温度高几度。噪声低不可闻，以致无法分辨是否开了机，即使用了高灵敏度的低阻耳机也无法听到一点噪声。而音色的表现就要看整体元件的搭配调整了，于是也开始了正式版本的设计（见图4）。

HA2.0版

HA2.0是作为成品设计的第二版PCB。电路上的元件数值的选取是经过了多个版本再三调整后的最终方案（见图5）。TPA6120有一定的功耗，所以工作的时候需要大面积的PCB铺设铜层来散发热量，又要避免连线的影响诱发自激，所以在布线上花了很多时间（见图6）。

1. 使用简洁的三端稳压双电源供电。简洁的电源线路能减少复杂布线可能引起的负面效果。

2. 电源各负载分开走线。虽然是使用了一组电源，但运放、TPA6120 两通道放大器的电源线都分开独立行走，并都用了退耦电容，尽可能减少了互扰。

3. TPA6120的引脚比较密，所以在布线时更要尽量避免交叉，保证高速的TPA6120工作稳定。

4. 全直流的放大形式，从输入端到TPA6120输出端，无一个耦合电容阻隔，进一步发挥TPA6120本身的优异性能。保留了输入端耦合电容与直流调零的位置，让喜欢使用电容调整音色的玩家有可玩的余地。

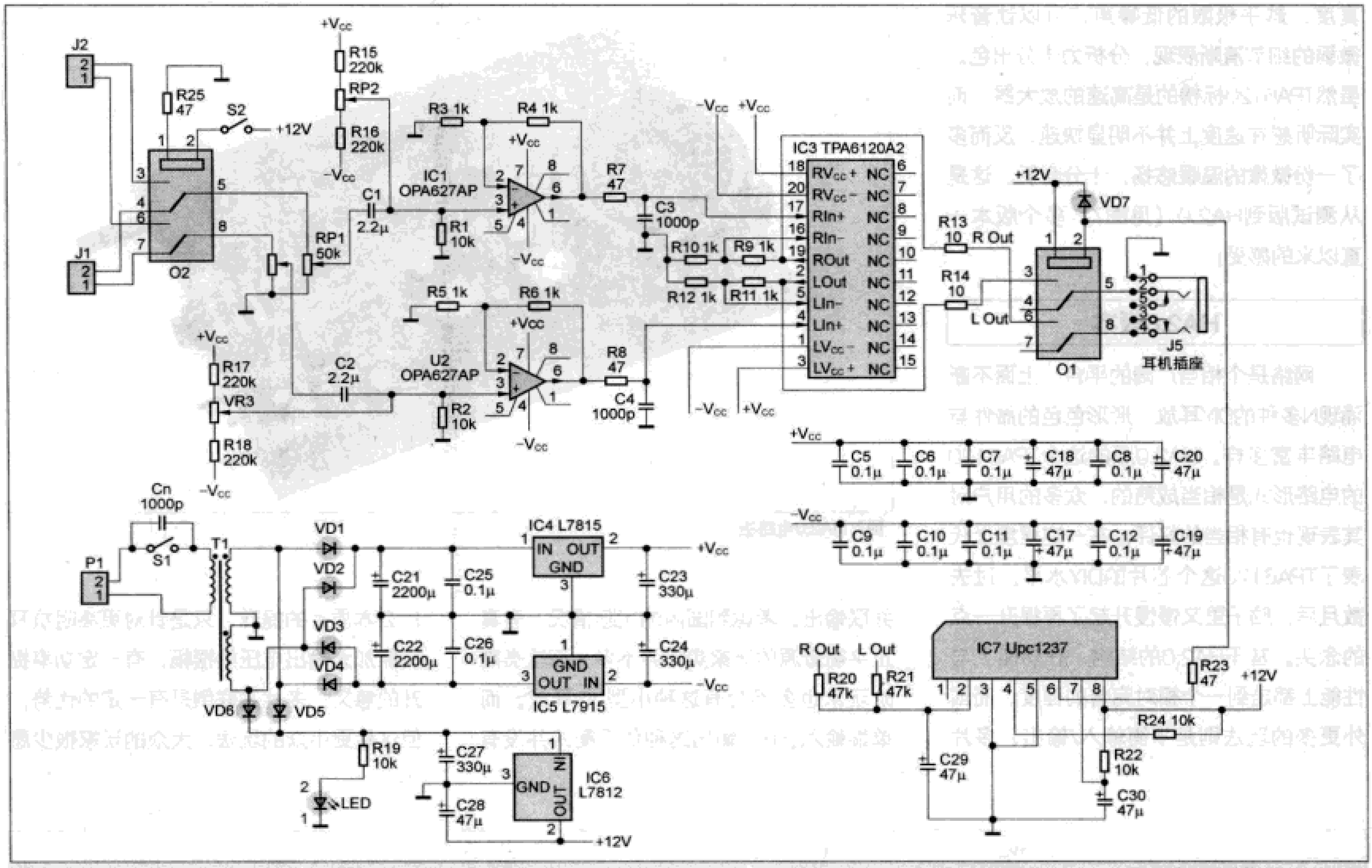


图5 HA2.0基本与HA1.1是完全相同的，只是在功能上增加了两组音源选择与重要的输出直流保护功能，把整个系统更完整化，整机完成度相当高。重新设计的PCB散热环境，让TPA6120的温度大幅降低到只比环境高几度。默认下全直流耦合，不安装输入电容与带宽限制电容，调零电路也不需要安装。整机相当稳定，以JRC5534运放搭配，中点直流输出只有5mV以下，一般在2mV左右。若使用低失调FET输入级的运放则更低

5. 加入了以μPC1237组成的输出直流保护电路，对于现在昂贵的耳机系统，没有输出直流保护是相当危险的，稍有意外几千上万的耳机就“报销”了。

6. 完整的结构。总电源开关与变压器都设在板上，减少了制作安装机箱时的麻烦，又使电路更完整、可靠。实际测试过，变压器装在PCB上并无对电路各项指标的影响，包括最重要的噪声。

HA2.0所有元件经过一些时日的搭配调整，笔者发现TPA6120并不太适合过于高档的元件，实际上使用过多的高档元补品件后，声音反而偏离了它的本色。在参考一些厂机耳放与厂机CD机为音源的对比后，TPA6120的音色可以归纳为：平衡、保真。能够比较忠实地还完音源的表现，没有过多的渲染修饰，平直有力地把音源送到耳机中，并实现极低的失

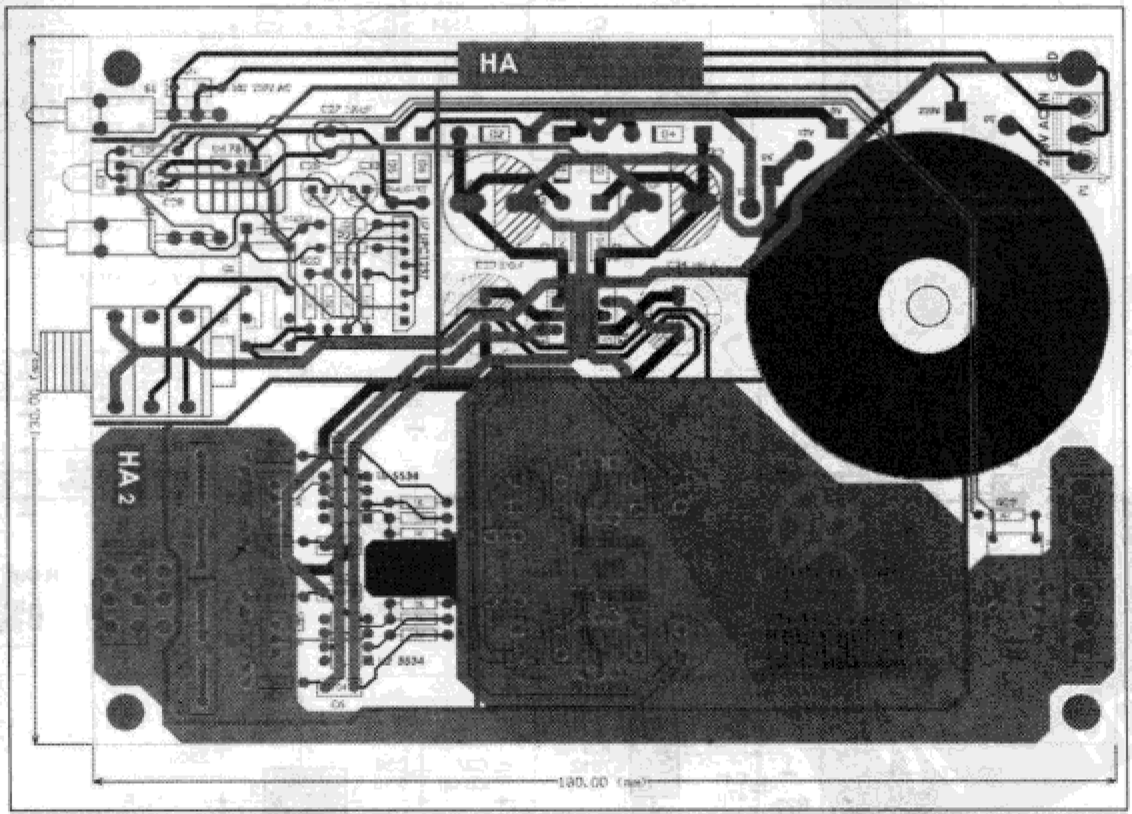


图6 HA2.0的PCB

真度、越乎极限的低噪声，可以让音乐微弱的细节清晰表现，分析力十分出色。虽然TPA6120标榜的是高速的放大器，而实际听感在速度上并不明显快速，反而多了一份微微的温暖悠扬，十分耐听。这是从测试版到HA2.0（见图7）多个版本一直以来的感受！

HA2.8版本

网络是个相当广阔的平台，上面不断涌现N多种的DIY耳放，形形色色的器件与电路丰富多样。HA2.0版的这个TPA6120的电路形式是相当成熟的，众多的用户对其表现也有相当的好评，在一定程度上代表了TPA6120这个芯片的DIY水平。过去数月后，脑子里又慢慢升起了再提升一点的念头。基于HA2.0的结构，在功能上与性能上都走到一个相对完善的程度。而国外更多的玩法则是平衡输入/输出、多片并联输出。考虑到国内的实际情况，有真正平衡音源的玩家实际并不多，而这类高阶玩家也多不会有这种小型 IC耳放。而单端输入、BTL输出这种伪平衡式并没有什么本质上的提升，只是针对更高阻抗耳机能加大输出电压的摆幅，有一定功率提升的意义。多片并联倒是有一定的优势，但这是更小众的玩法，大众的玩家很少愿

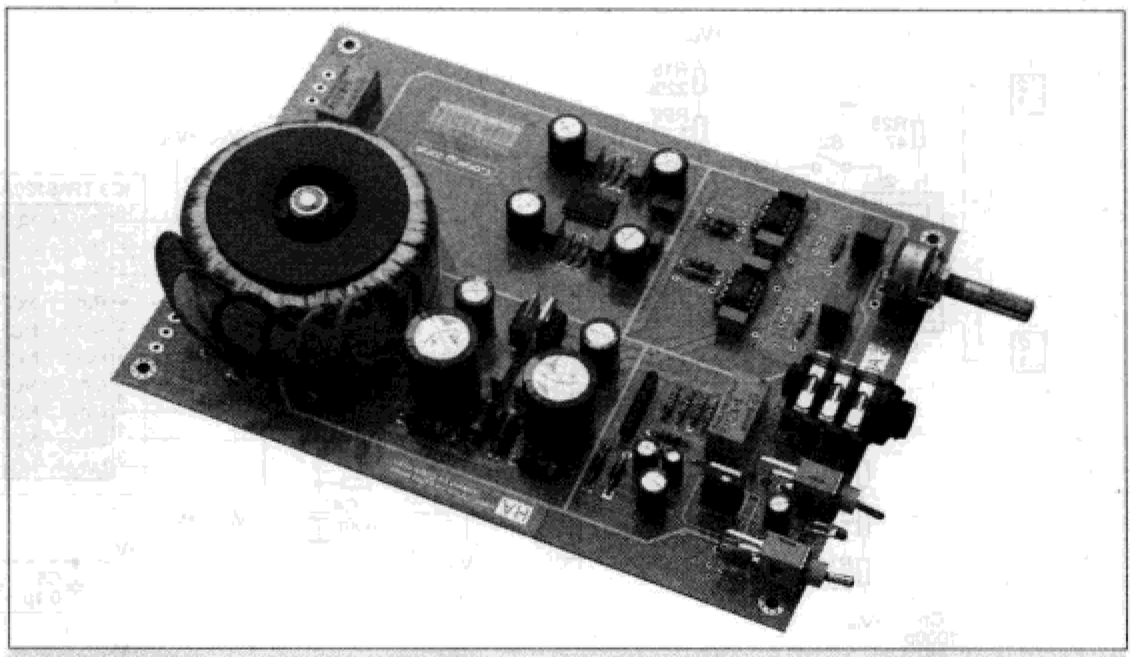


图7 HA2.0电路板

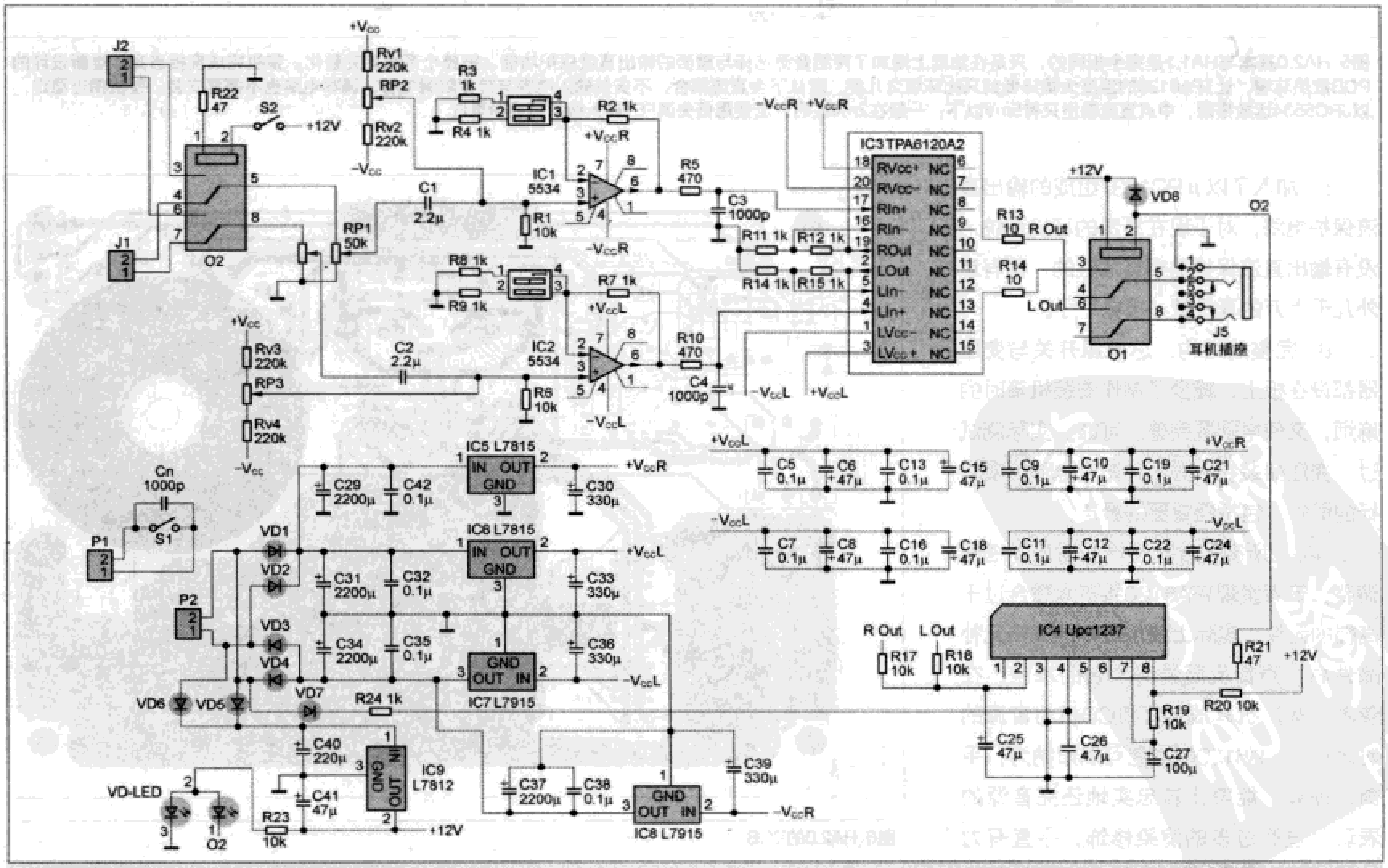


图8 HA2.8电路图

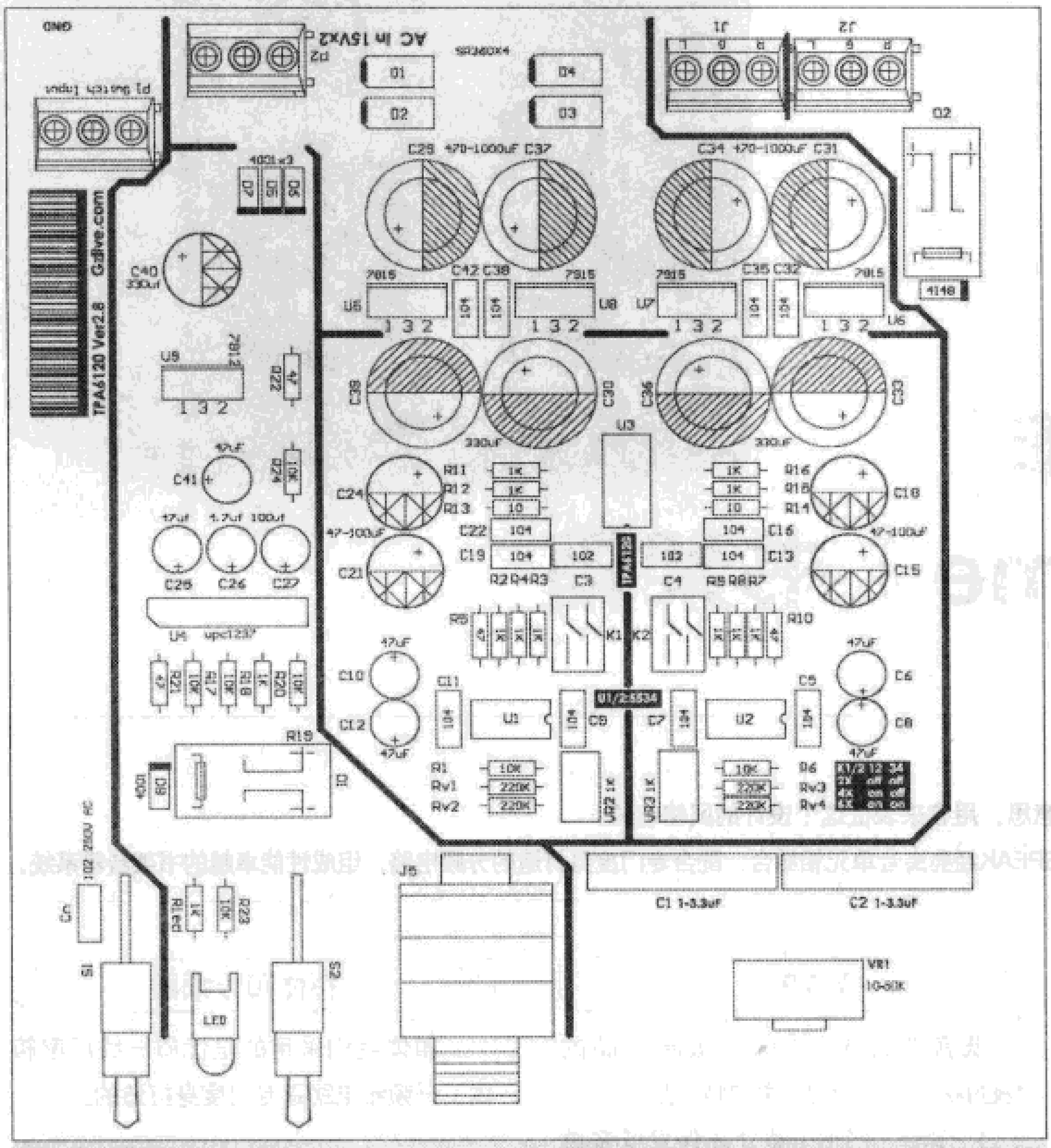


图9 HA2.8的PCB

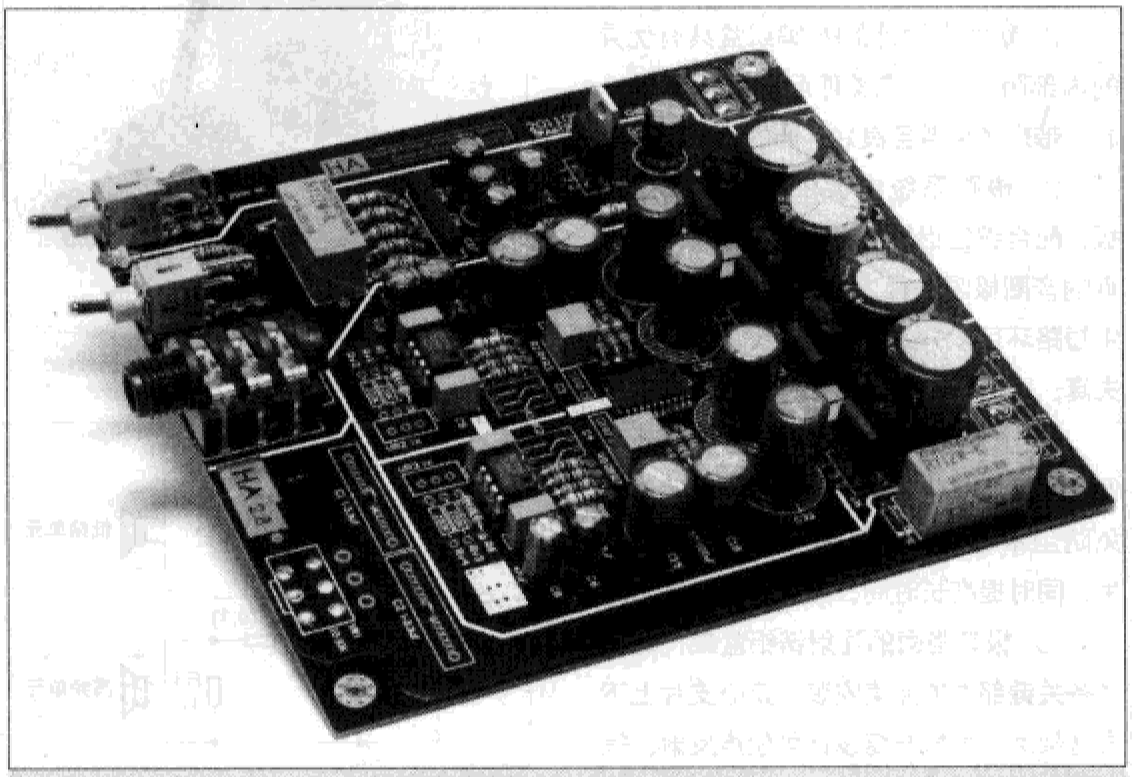


图10 HA2.8版使用了不同元件的测试板，用来对音色取向搭配进行调整

意出高价钱购买多片TPA6120芯片来做这种另类的耳放。方案慢慢地沉积过滤，最终的想法是不改变现在的电路架构，在单一片TPA6120的基础上，通过提升外围的电路形式“榨尽”TPA6120的潜能，并提供更多可玩的空间给大家去发挥。就是这样，接替HA2.0的2.8版本就出来了，它不是代替了2.0版本而是延续了单片TPA6120耳放的成绩，其电路原理图见图8。

HA2.8 在电源上使用了四路独立的稳压，充分利用 TPA6120 内部两个完全独立放大器，左右声道完全独立供电。而两只单运放的供电也就同时独立了。变压器从 PCB 上分离出来，一方面可以让玩家自己更换喜欢的变压器，另一方面释放了部分的 PCB 空间，让电路布局更理想（见图 9）。PCB 在布线上相应做出调整，最佳化地配合上述改变带来的更大的设计空间。左右声道的放大地线、供电分离，独自形成一个局部系统。TPA6120 的散热铺铜层可更有效地利用布局带来的优化，大大减少散热面积后却比 HA2.0 版本的温度还更低，因为增加了散热的效率。分离了变压器、电路上增加复杂性、机箱体积增大等改动都让这次布线有很多挑战。最终，新版本的设计在测试中取得了满意的结果，电路上的布局更加对称、完美。在功能上除了让玩家可以有更多空间选择变压器外，还增设了更便于调整增益的拨动开关，可方便地从 2X 到 6X 之间切换（见图 10）。

手上的耳机渐渐多了起来，大部分是朋友互借来调音使用的，它们包括了HD580、650、DT880、T1、AKG702以及歌德325IS等。边制作、边调试、边对比听音，HA2.8版本音质上确实得到一点点不大的提升，主要是音场、乐器定位表现更沉稳，气势力度更强一点。这些是得益于电源的独立供应与PCB布局的调整。整体而言，对比HA2.0版本提升的并不算明显，是作为单片的标准TPA6120放大电路，HA2.8整体上是一个相对完美的设计。相比常见的仿厂机DIY耳放产品，HA2.8已经足够拥有攀比的能力！

◇詹文

精品套件制作 畅美（Charme）书架箱

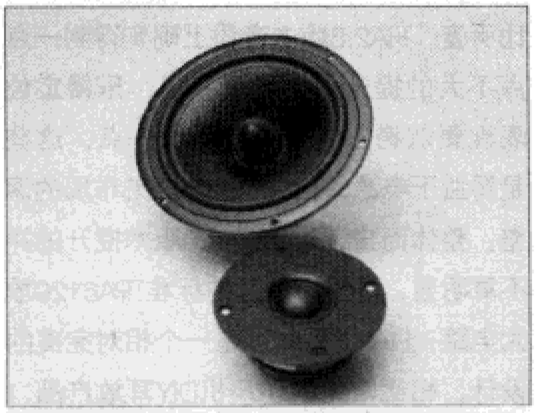
套件特点

Charme是法语单词，表示“妩媚、优雅”的意思，用它来表征这个设计的风格定位。

Charme书架箱将SEAS新型中低单元与SCAN-SPEAK经典高音单元相结合，配合专门度身打造的分频电路，组成性能卓越的书架音箱系统。

高音单元

高音单元采用SCAN-SPEAK的D2905/9500，额定功率高达150W，音圈骨架采用铝合金材料，具有最轻的振动和最佳的热工性能。音圈绕线采用六角形铜包铝线。磁隙内还灌注了低粘度的Ferrofluid磁液，可以加快热量的散失，还可保证音圈大动态时定位良好，降低机械系统品质因数，使单元的频响曲线更平滑。精心设计的不规则后腔，不仅可以降低谐振频率，还可以将振膜后向反射能量吸收并转化，消除后腔驻波。



扬声器单元

低音单元

低音单元采用SEAS最新出品的U18LNX/P H1571-08，主要特点是：

1. 这是一个6.5英寸高保真低音单元，采用了注射成形的铸铝盆架，适合于倒相和传输线音箱设计。

2. 新曲面设计的PP编织盆具有优异的内部阻尼，与完美匹配的振动部件一起，带来了平滑且良好延伸的频率响应。

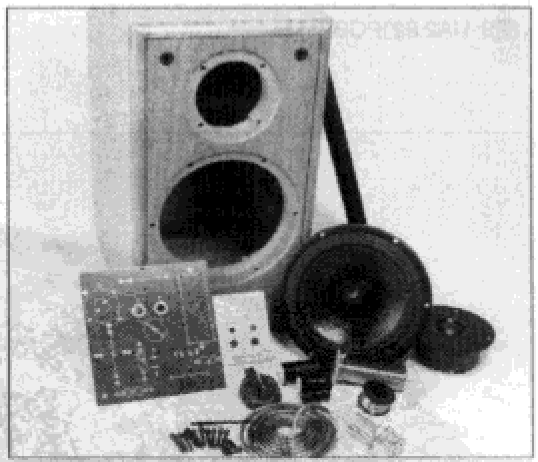
3. 磁路系统中，中部凸起的后夹板，配合铜包铝超长音圈设计，带来低失真的音圈极限冲程。T形导磁柱下的大型铜短路环可以有效降低非线性失真和调制失真。

4. 子弹头相位塞的设计可以有效降低音圈温度变化带来的动态压缩，同时避免防尘罩与导磁柱之间的谐振现象的发生，同时提高长时间、高功率工作性能。

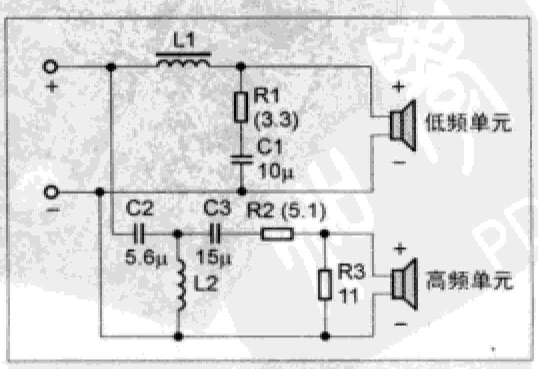
5. 极其坚固的注射铸铝盆架，保证了各关键部件的完美安装。定心支片上下方盆架上的大形开窗设计可使声反射、气流噪声和腔室谐振降到最低。

箱体和分频器

箱体我们采用的是优质一线厂家箱体，分频器电路是专门度身打造的。

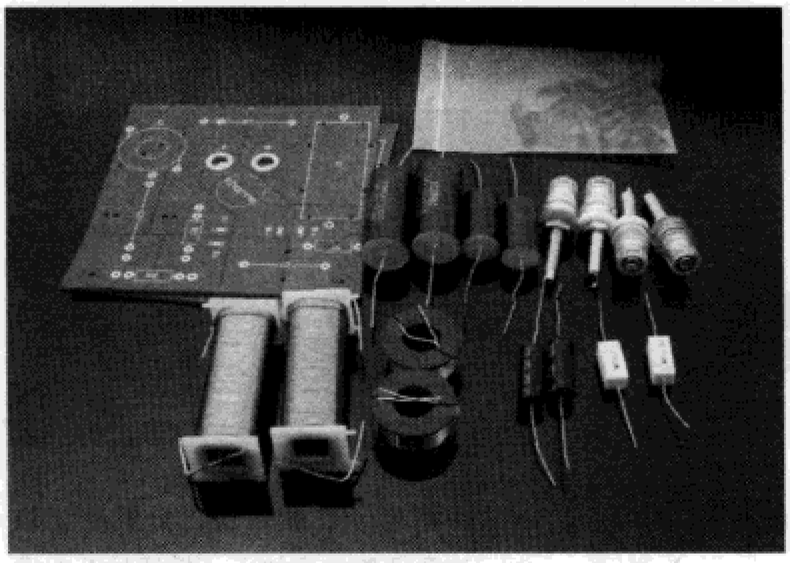


套件全家福



分频器电路

第一部分 分频器的焊接



附表 畅美音箱元件清单

名称	数量	名称	数量
低音扬声器(H1571)	2个	BENNIC XPP15μF电容	2个
高音扬声器(9500)	2个	BENNIC XPP5.6μF电容	2个
5W11Ω瓷电阻	2个	L2(0.36 mH电感)	2个
5W5.1Ω	2个	L1(1.7 mH电感)	2个
5W3.3Ω	2个	65mm接线柱	4个
20mm×100mm吸音棉	4张	雕刻铝牌	2个
扬声器密封条	1条	4mm×30mm内6角螺丝	21个
4mm内六角扳手	1个	4mm自攻螺丝	7个
分频器PCB	2片	华敏线	1.6m
扎带	30根	BENNIC黑色10μF电容	2个
卡线套、卡线座	9套	卡线头	9

整理出单个音箱的元件

附表是一对音箱的元件清单，可参考套件清单进行整理。

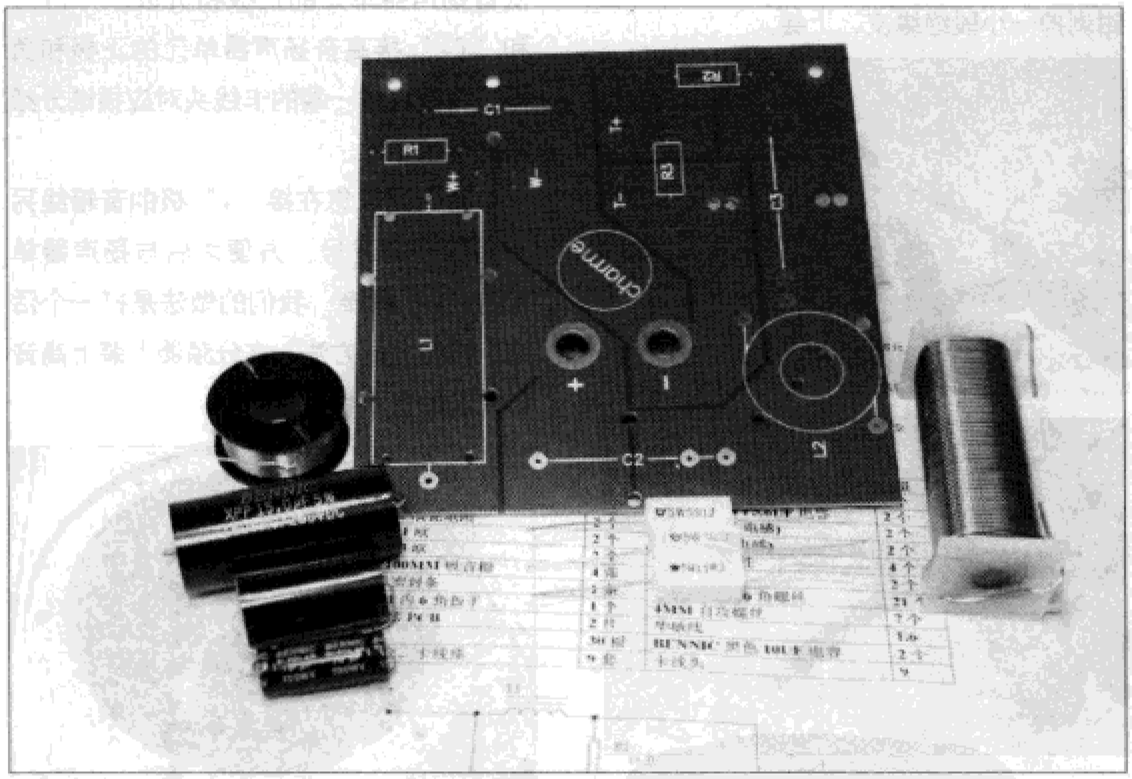
焊接要点

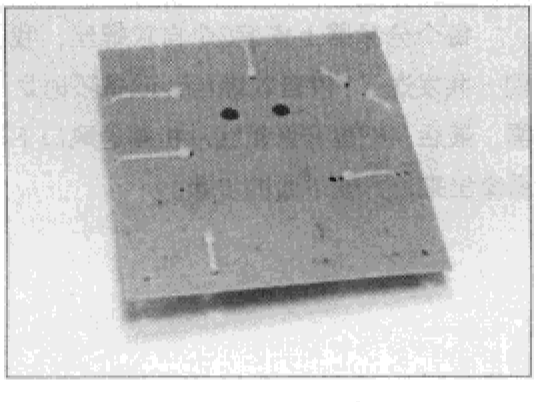
分频器的焊接比较简单，因为所用的元件不多，电阻和电容都有参数说明，在安装时，对准PCB的丝印就可以明显判断出。电感有两个，长方体的电感是L1，圆柱体的电感是L2。

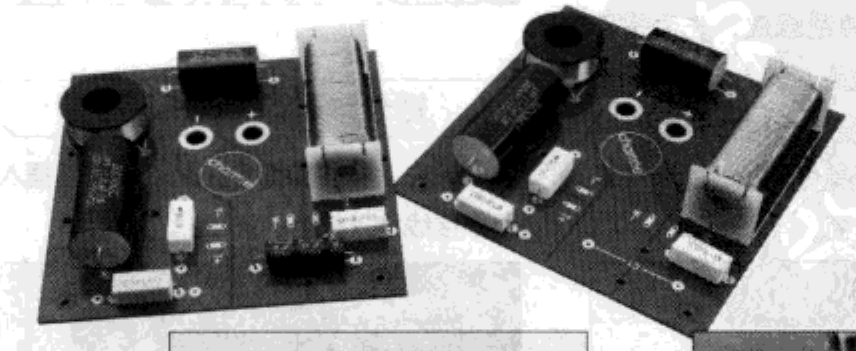
焊接的时候，请用质量好的焊锡，电烙铁建议用功率在50W的或大于50W的，保持焊点光亮饱满。别忘了焊上卡线座。

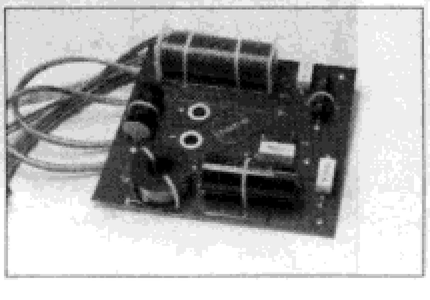
固定体积较大的元件

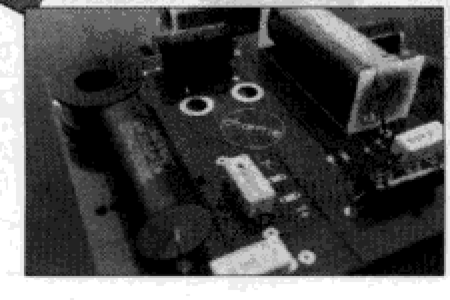
接元件时，体积较大的电容和电感不容易固定住，因此，套件中我们为您准备了尼龙扎带，用扎带固定住电容、电感，使分频器更稳定。







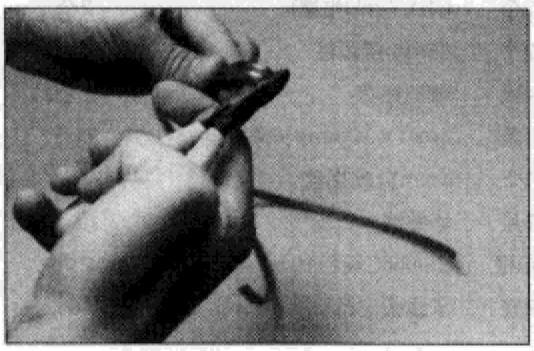




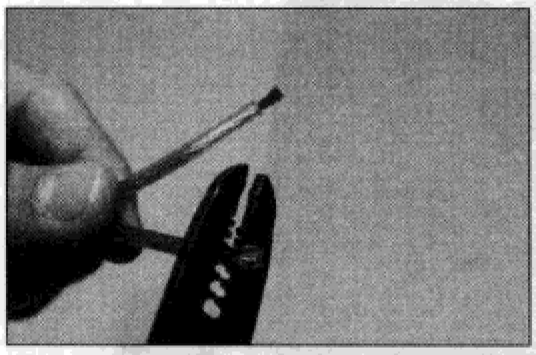
第二部分 分频器PCB的安装

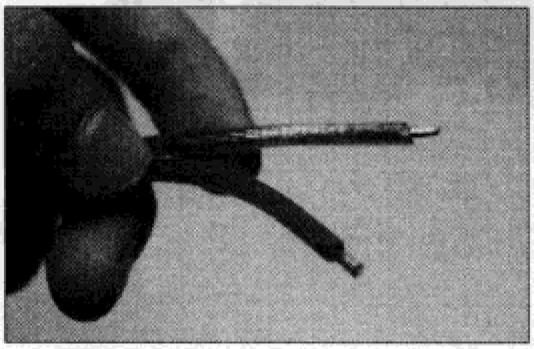
制作音箱线

音箱线是一根1.6m的华敏线，您需要平均裁剪用在两个音箱上。然后再次平均裁剪，分别作高音和低音音箱线。

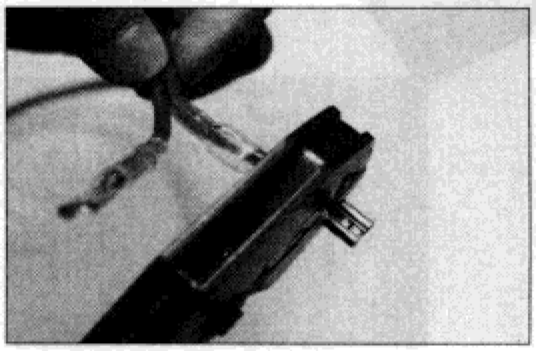


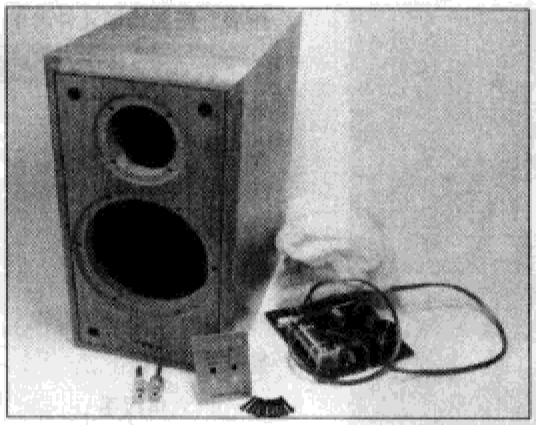
在扬声器线的一端分开岔口，用剥线钳剥掉一小段绝缘皮，上锡。





另外一端，剥掉绝缘皮，先套进卡线套，然后装上卡线头。装上卡线头后上锡，固定卡线头，这样一根音箱线做好了。按照上面的步骤再做一根，这两根音箱线用在一个音箱里面。

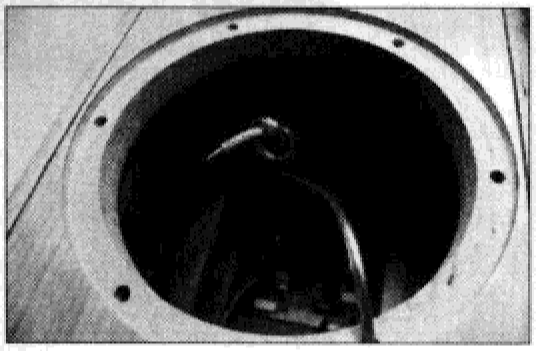




将音箱线接在分频器上

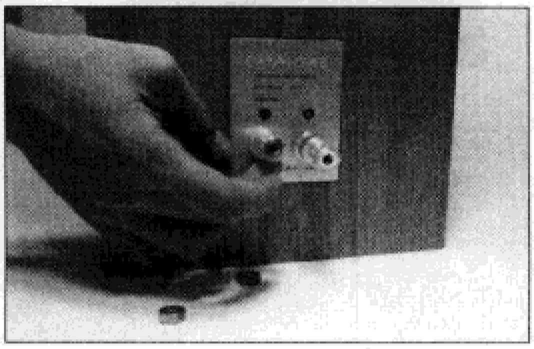
分频器上“W+”和“W-”分别接低音扬声器单元的正极和负极，“T+”和“T-”接高音扬声器单元的正极和负极。将音箱线一端的卡线头对应插进分频器的卡线座上。

我们建议您在接“+”极的音箱线另一头做一个记号，方便之后与扬声器单元的“+”焊接，我们的做法是打一个活结。按照上面方法，在分频器上装上高音和低音的音箱线。

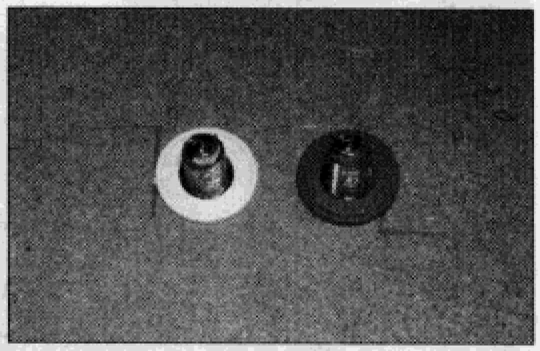


把分频器固定在机箱上

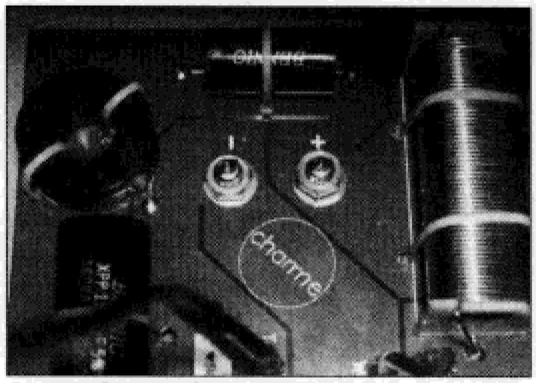
首先，把铭牌固定在机箱后面，插入两个接线柱（红色的接“+”）



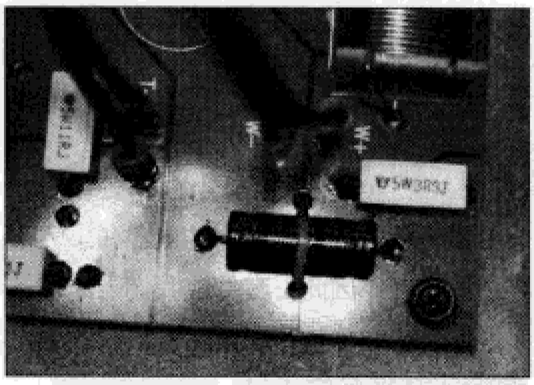
然后从机箱内侧在接线柱上放两个塑料垫环，颜色与接线柱对应。



再把分频器放进去，分频器比较大，注意调整角度放入，接线柱孔对准接线柱。



在接线柱上安装固定螺帽，固定螺帽一定要上紧！最后用自攻螺丝固定分频器。

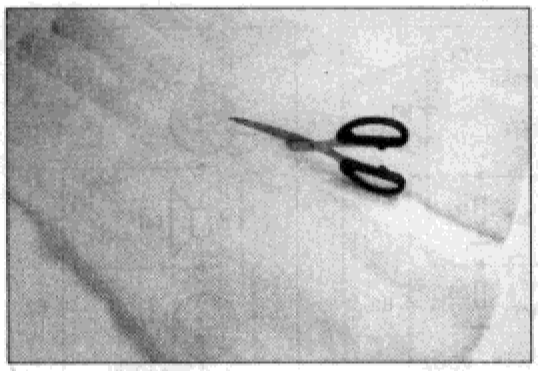


每个分频器上安装3个自攻螺丝，我们一共发送了7枚自攻螺丝，以备不时之需。最后，把高音音箱线从机箱通风口下面牵出来，方便下面的步骤。

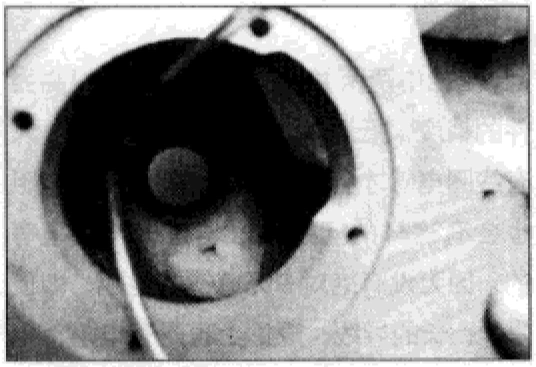
第三部分 扬声器的安装

装好吸音棉

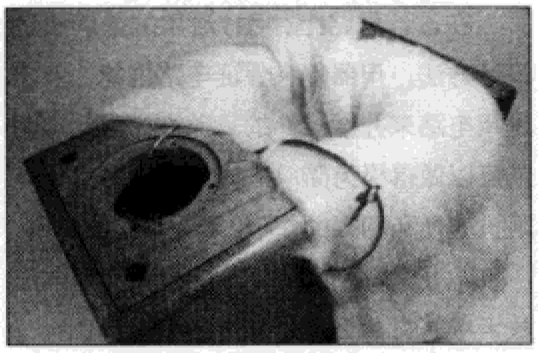
吸音棉一共有两张，分别用在两个音箱里面。每一张吸音棉要裁剪成两段，分别装在机箱的高音单元与低音单元四周。



高音单元的吸音棉放置原则是绕着导向孔，同时不能堵住高、低音单元的通风口。

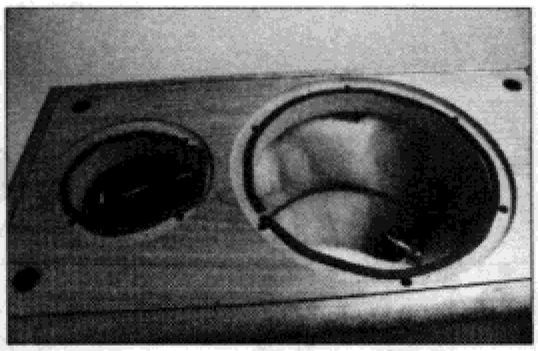


低音单元的吸音棉的放置原则是盖住分频器与机箱低音单元的“三壁”（两侧跟后面，通风口不能堵住）。



安装扬声器单元密封条

撕掉扬声器密封条背面的纸条，顺着机箱上扬声器的边沿贴好密封条。



焊接扬声器

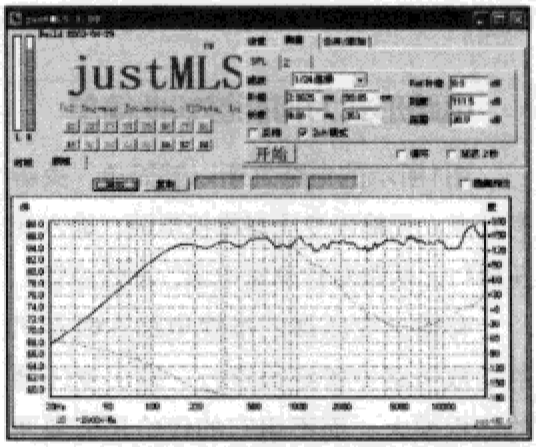
一定注意区分扬声器单元的正、负极，低音单元的正极焊片周围是红色，高音单元的正极有“+”的标记。

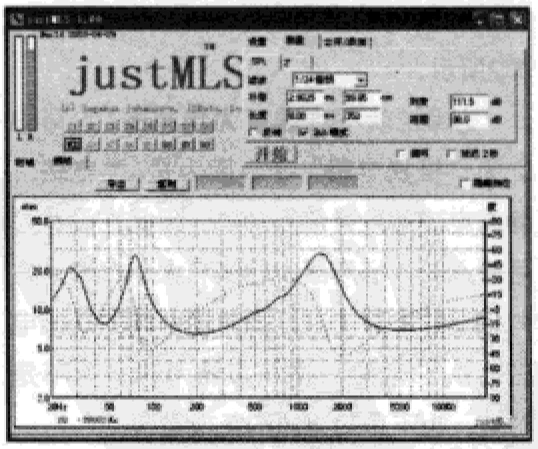
固定扬声器单元

在焊接好扬声器单元之后，放置好扬声器单元，装上固定螺丝。

装上内六角螺丝之后盖上网罩。这样我们就装好一台音箱了，另外一台就看您的了！

最终的测试曲线



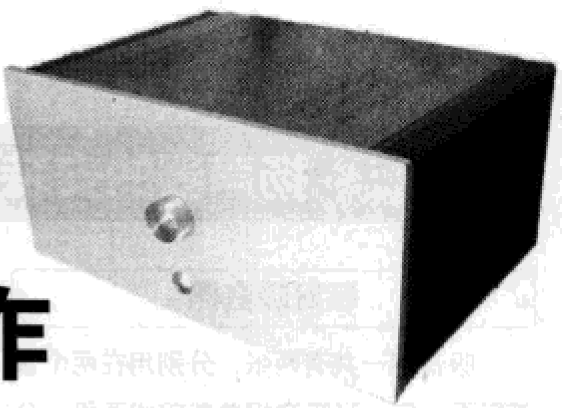


套件销售

套件价格：3680元/套+100元邮费

购买方式：1. 邮局汇款：北京市崇文区夕照寺街14号A座《无线电》杂志收，邮编：100061，请在汇款单附言中注明畅美书架箱套件和汇款人电话。2. 淘宝店购买：http：//boqu.taobao.com/

◇梓门



纯后级A类混合功放的制作

图1所示的纯后级电路的形式简单到了完全没有必要采用印制板，只要把有限的几个元器件连接起来即可。尽管这个电路采用了前胆（电子管）后石（晶体管）的设计，但是从电路形式来看，由于没有输出变压器，比一般的胆机显得还要简单。

胆石混合结构、A类（甲类）输出级、场效应管，这些都是当前Hi-Fi发烧圈的热点，在这么简单的电路中同时体验到这么多“风味”，颇有点“一菜多吃”的味道。

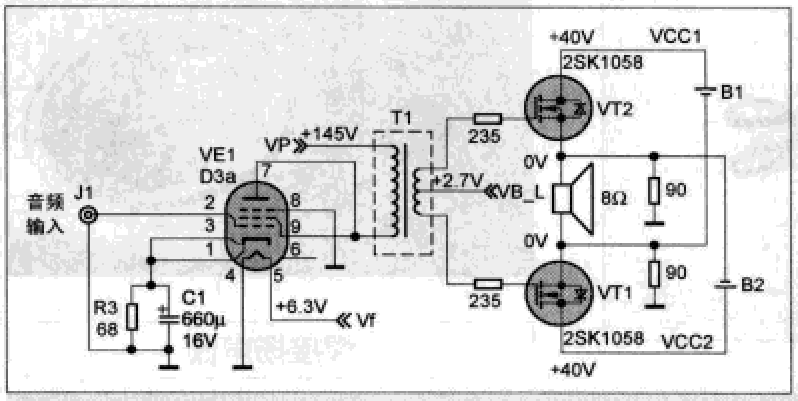


图1 胆石混合A类后级电路原理图

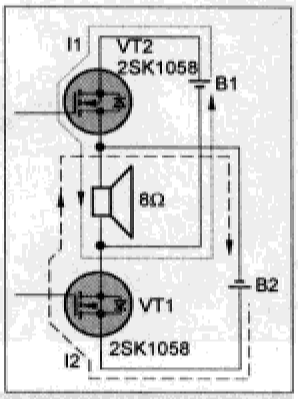


图2 输出级的电流方向

电路形式为何能够如此简单

图1所示的电路之所以够简单，关键有几点：无输出变压器推挽电路、输入变压器T1、两路对称隔离电源、场效应管。

有输出变压器的推挽电路在收音机的功放电路中曾经很流行，输出变压器的体积很大，而不用它的代价是需要两组相互隔离的电源B1、B2，电流方向如图2所示。

从图2就不难理解为何将图1电路称之为“推挽电路”了。因为是A类电路，静态电流的设计值为1.6A，因此在没有信号输入时，扬声器中始终有大小相等、方向相反的电流流过，扬声器两端的直流电压为0V。注意，是扬声器两端，而不是对地，也不是对电源的正或负极。

因此电路在静态时，输出级电路与电源的关系，与BTL（Balanced Transformer Less circuit，无变压器平衡电路）电路是类似的。

当栅极有信号输入时，上管VT2放大正半周的信号，信号电流方向与静态电流/1相同，下管放大负半周的信号，信号电流方向与静态电流/2相同。因此，在动态时，电路才更像是推挽电路。

如果没有负载接入怎么办？对扬声器负载而言，无论是VT1还是VT2，都是共漏极电路，即源极跟随器电路，输出级的电流增益由扬声器和90Ω电阻共同确定，当有扬声器接入时，电路的电流增益主要由扬声器决定，当没有扬声器接入时，90Ω的电阻决定了电路的电流增益。

如果用双极性晶体管构成输出级，就需要有足够的基极驱动电流才能获得足够的电流增益，这就对倒相变压器T1提出了更高的要求，若增加相应的推动级，电路就复杂了。而场效应管是压控型器件，如果忽略极间电容，理论上是不需要驱动电流的，用T1来直接驱动就轻而易举了。当然，当工作频率比较高（数十兆赫兹或者更高）的时候，即便用场效应管来做功率放大，往往也是需要驱动电路的，对于音频电路而言，100kHz的带宽就足够了。

因此图1电路用场效应管并不是为了追求不同于双极性晶体管的音色，而是电路简单化的需要。为达此目的，电源电路就显得比较复杂了，整体电路如图3所示。

图3中两两并联的电阻是为了提高器件的精度，抵消其离散性。一般而言，只有线圈电感才会考虑到相位的问题，电阻也会有这样的问题吗？理论上来说是有的，因为没有绝对“无感”的电阻，即便是1cm长的导线，理论上也是有电阻、电感、电容的，只不过通常可以忽略罢了。因此，当用多个相同的电阻串联或者并联当一个用的时候，两者相向连接是有利的，就像图3中所示的那样。

在设计思路上，图1沿用的是胆机的设计方法，用器件来保证电路性能，而不是用电路来补偿器件的离散性，因此电路就可以做得极为简单，输入变压器T1兼有阻抗变换和倒相的作用。

电子管VE1构成了这个后级的电压放大级，即输入级。VE1的型号为D3a，Siemens的产品，在欧洲的音频应用中比较知名，是旁热式五极电子管，即灯丝和阴极各自独立、有三个独立栅极的电子管，这里接成了3极管使用，管座是小九脚，6脚是空脚。

输入信号从第一栅极输入，从阳极输

出，是共阴极的接法，C1是旁路电容，R3为阴极反馈电路，决定了本级电路的电压增益。这种接法相当于双极性晶体管中的供发射极接法，是典型的电压放大电路。

电子管VE1的应用，一是取其电路形式简单，二是取其可以与晶体管的声音取向互补。因此，与VT1、VT2相比是刻意为之，并非电路设计要求所必须的，换言之，VE1也完全可以用晶体管电路取代，只是电路形式就要复杂一些了。

电源电路共有4组，其中的1组是两个声道是共用的，另外3组则是独立的。每一个声道用独立的一个电源变压器供电，其中的灯丝绕组是共用的。VCC1相当于图2中的B1，VCC2相当于图2中的B2，L1～L4为滤波电感，通常称为“扼流圈”，在卖胆机配件的地方一般就有卖的。

VB_L是左声道场效应管的偏置电源，VB_R是右声道场效应管的偏置电源，两组电源均取自电子管灯丝电源。这是为了节省一套整流滤波电路，也可以增加一套整流滤波电路，将两个变压器的9V绕组分别独立整流滤波。更为讲究的做法是，每个变压器再增加一个6V的绕组，经过整流滤波稳压后分别作为两声道的场效应管偏置电源。

需要注意的是电源变压器9V绕组的并联方法，要同名端相连。如果变压器的绕组上没有明确标识，需要用电感表测一下：先测量任一绕组的电感值，然后将两个绕组的两端分别随意相连，再次测量电感值，如果减半了，说明接对了，如果接近于0，说明接反了。如果没有电感表，就像图示那样，在每个绕组上先接上电阻，然后随意并联，上电后迅速用万用表的AC电压挡测量电压。如果电压相符，说明接对了，如果接近于0，说明接反了。这种方法需要动作迅速，或者用比较大的串联电阻。

T1各绕组的接法，对照图1，初级绕组（C绕组）是串联接法，次级绕组是并联（AB绕组）后再串联的接法。

器件的选择不简单

图3电路虽然形式简单，要获得理想的效果，器件的选择丝毫马虎不得。

1. 晶体管的选择

VT1、VT2可选择LDMOS。

常见的功率场效应管属于增强型MOSFET（Metallic Oxide Semiconductor Field Effect Transistor，金属—氧化物—半导体场效应晶体管），大致有两种类型，即VMOS和LDMOS。两者相比，VMOS（Vertical Metal Oxide Semiconductor，垂

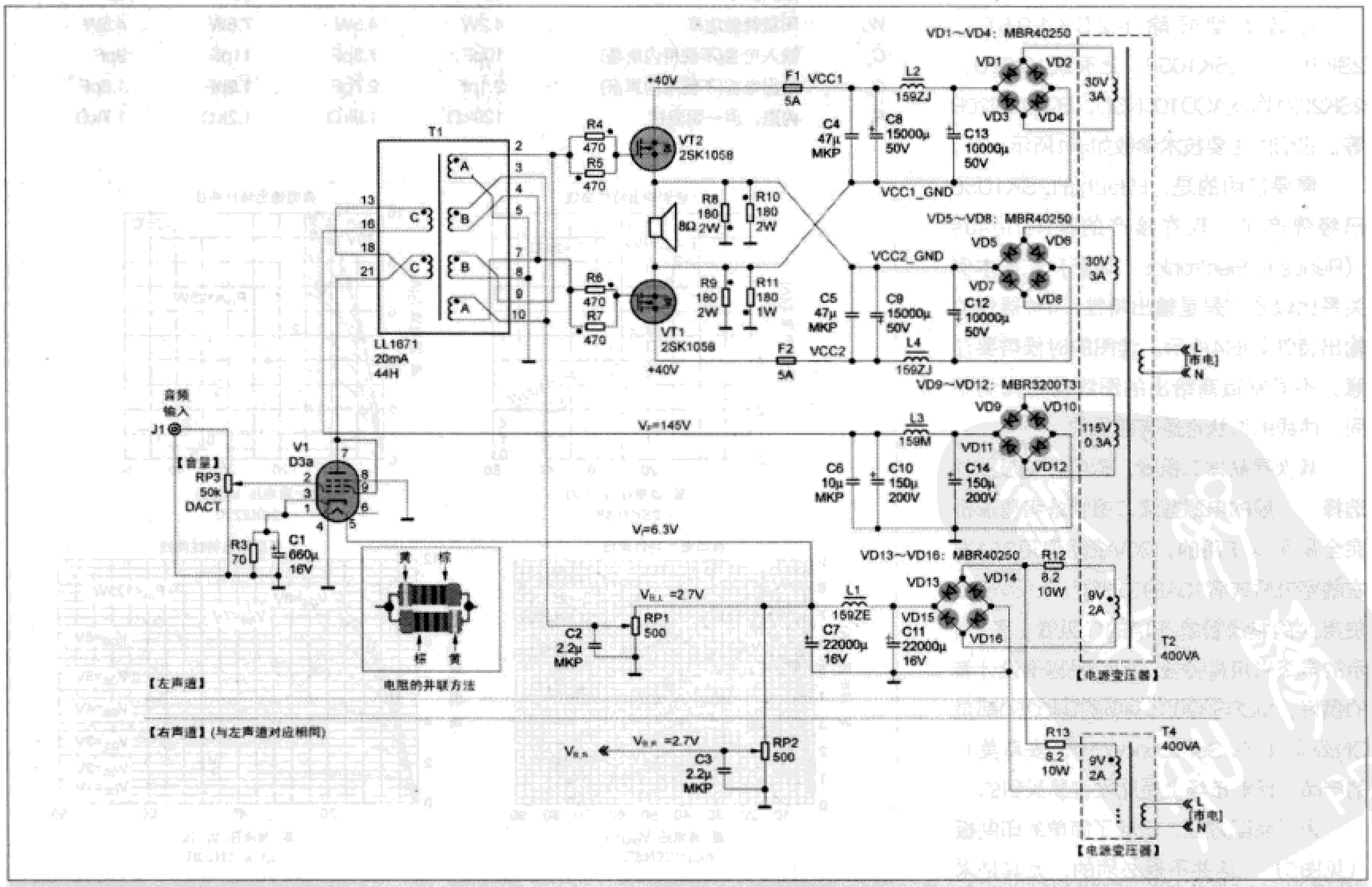


图3 胆石混合A类后级的整体电路原理图

直沟道MOSFET）的沟道方向相对于栅极区是竖向的，漏极区与源极区相向配置，源极区与栅极在一侧，漏极区在另一侧，导电沟道相对比较宽，更适合用作大电流开关，如PC主板上的电源管、开关电源中的电源管。LDMOS（Lateral Double-diffused MOSFET，横向双扩散MOSFET）沟道是横向的，源极区与漏极区位于栅极区的两侧，能适应更高的工作频率，常用作射频功率放大，因为其线性上的优势，也有专用于音频放大的廉价产品，如本例中的2SK1058，音响名管之一，Hitachi的产品，同系列的还有2SK1056、2SK1057。

对音频线性放大而言，比较紧要的是线性度和栅极关断电压，线性区足够宽和好是必要的，栅极关断电压则牵涉到偏置电压。由于偏置电压是外电路决定的，因此，实际紧要的是线性度。应用实践表明，LDMOS比VMOS的线性要优秀一些。

可选的型号除了2SK1056、2SK1057、2SK1058，还有2SK2220、2SK2221以及ACD100NSD、ECX10N20R等，它们的主要技术参数如表1所示。

表1

符号	中文说明	2SK1058	2SK2220	ACD100NSD	ECX10N20R
$V_{(BR)DSX}$	电压规格(漏—源击穿电压)	160V	180V	200V	200V
I_D	电流规格(漏—源最大电流)	7A	8A	8A	8A
P_{ch}	功率规格(漏极最大耗散功率)	100W	100W	125W	125W
$V_{(BR)GSS}$	栅－源击穿电压	±15V	±20V	±18V	±14V
$V_{GS}(off)$	栅极关断电压	0.15～1.45V	0.15～1.45V	0.15～1.5V	0.15～1.5V
$V_{DS}(sat)$	漏－源饱和压降(最大)	12V	12V	12V	10V
|yfs|	跨导	0.7～1.4S	0.4～1.4S	0.7～2.0S	0.7～2.0S
Ciss	输入电容	600pF	600pF	500pF	500pF
Crss	逆导电容	10pF	8pF	10pF	10pF
互补型号(P沟道)		2SJ162	2SJ351	ACD102PSD	ECX10P20R
制造商		Hitachi(日)		Semefab(英)	Exicon(英)

表2　D3a和6C45的主要技术参数（典型值，部分参数与使用时间有关）

参数	中文说明	D3a		6C45	5842
		五极管	三极管		
V_f	灯丝电压	6.3V		6.3V	6.3V
I_f	灯丝电流	315mA		440mA	300mA
R_g	输入阻抗	1kΩ		3.5kΩ	
U_{bg}	栅极电压(第1栅极)	10V		9V	
Mu	跨导	35mS	41 mS		
R_{eq}	等效噪声阻抗，阴极偏置电阻	150Ω	65Ω	100Ω	60Ω
I_a	阴极电流，阴极-阳极电流	22mA	24mA	52mA	38mA
U_{ba}	阴极电压，阴极-阳极电压	190V	160V	150V	200V
μ	放大因子	80	77	52	43
W_a	阳极耗散功率	4.2W	4.5W	7.8W	4.5W
C_g	输入电容(不使用内屏蔽)	10pF	7.3pF	11pF	9pF
C_a	输出电容(不使用内屏蔽)	2.1pF	2.7pF	1.9pF	1.8pF
R_i	内阻，屏—阴阻抗	120kΩ	1.9kΩ	1.2kΩ	1.7kΩ

需要说明的是，Hitachi的2SK1058已经停产了，现在接产的是Renesas（Renesas Electronics，瑞萨）。与本例关系比较密切是是输出特性，4种器件的输出特性如图4所示。读图的时候需要注意，不同制造商给出的图线网格比例不同，曲线的形状也是有差异的。

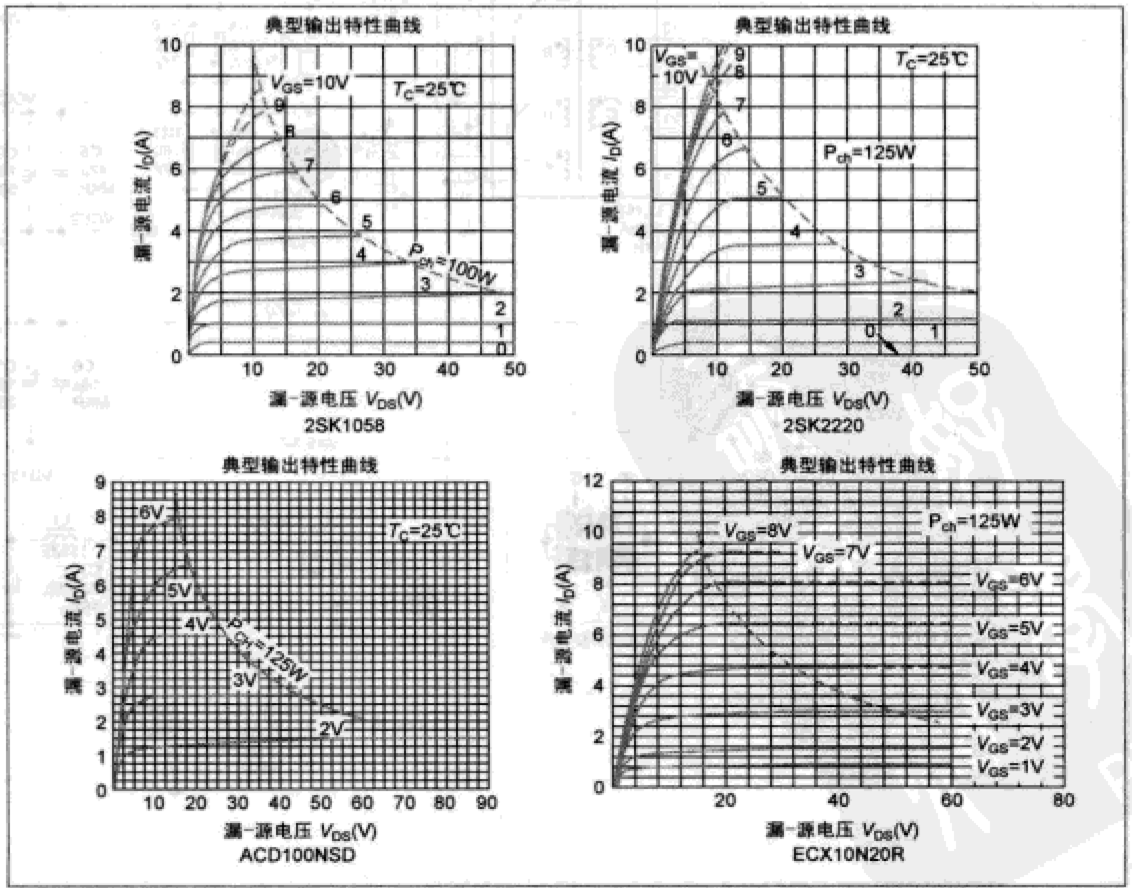


图4 可选晶体管的输出特性曲线

其次是晶体二极管，即电源整流管的选择，一般的电源整流二极管或者整流桥完全是可以使用的。30V绕组使用35A左右的整流桥或者10A的二极管，115V绕组使用3A的整流管或者1A的二极管。图3所示的电路采用肖特基二极管是基于设计者的偏好。MBRS3200T3和MBR40250都是ON公司（ON Semiconductor，安森美）的产品，目前市场上是比较容易买到的。

为了装配方便，设计了简单的印制板（见图5），这并不是必须的，尤其是采用整流桥时更是如此。不过，对于贴片

图5 晶体二极管及其印制板

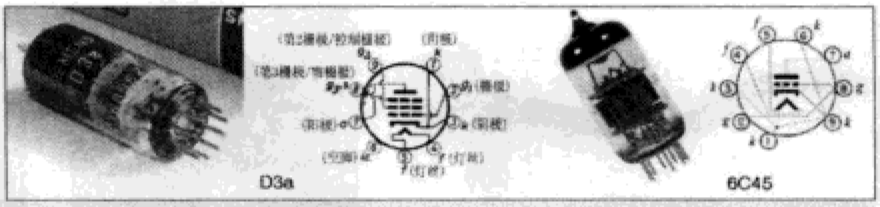


图6 D3a和6C45的照片与管脚

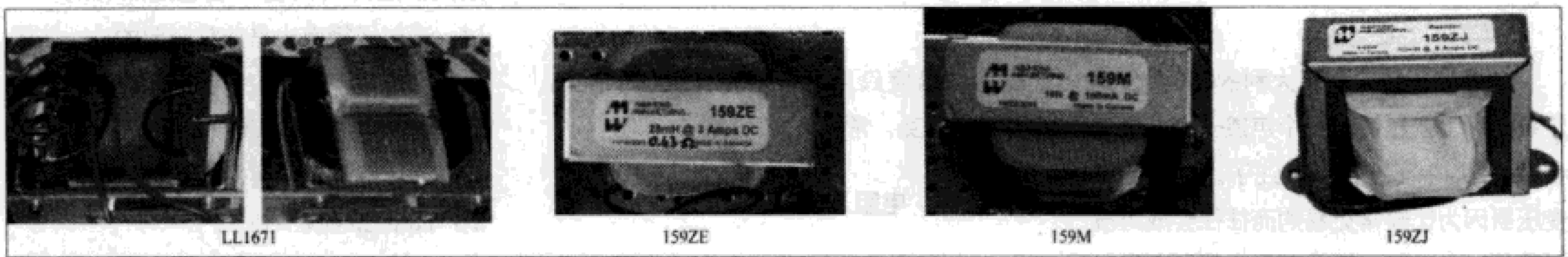


图7 变压器的照片与管脚(未按同一比例)

封装的MBRS3200T3来说，印制板要方便一些。

2. 电子管

对于后级来说，输入级是主要的电压放大级，是电路增益的主要产生地。对电子管而言，增益带宽和电压/电流规格都不是问题，适合用作电压放大的电子管对本例都是适用的，推荐的型号有D3a、6C45，实际用的是D3a（见图6）。

之所以选择它们，是因为我们希望这个后级的输入灵敏度达到0.5V_{RMS}，设计输出能力是在8Ω的负载上得到最大20W的功率，即20W@8Ω。根据公式$P=U^2/R$不难得出$U=12.5V_{RMS}$。P为设计输出功率，$P=20$，R为负载电阻，$R=8$，U为有用的信号电压，按1kHz正弦波信号的均方根平均值来计。因为输入信号的最大幅度为0.5V，那么电压放大级的放大倍数就是12.5/0.5=25。由于级间变压器T1（参见图3）的插入，其变压比为1:1→2:1，或者简写为2:1，电压放大级的放大倍数就需要25×2=50，也就是说，电子管VE1的放大因子应该达到或者大于50。

另一个有关的参数是电子管内阻Ri，为了与T1初级绕组的阻抗（音频频域约5kΩ）相匹配，所选电子管的Ri应该在2kΩ左右。多数用作电压放大达到电子管都能满足这一要求，参见表2。因此放大因子是选管的主要参考依据。另一个可选的型号是5842，常见的是美国Raytheon品牌，只是它的放大因子只有43，显得不够大。选用不同的电子管时，阴极偏置电阻需要做相应的调整，它近似等于Req。

上述可选的电子管都是早已停产的产品了，至多能买到NOS（New Old Stock，库存的新管）管，但是购买的难易程度还是差异很大的。五极管D3a只有Siemens生产过，等同的型号是是7712，旁热式三极管6C45就不一样了，它是通用的电压放大管，制造商和品牌有Reflektor、Sovtek、Electro Harmonix等，等同的型号有6C45П-E、6S45P-E等，特性近似的型号还有EC8020、EC8010、3A167M、437A、417A（5842与之等同），市场上的存货就大多了，也可以选择特性近似的新管，即当前一些制造商仍然在生产的产品。

6C45以原苏联产的为佳，当前俄罗斯产的也不差。总体上说，电子管的选管要求远比晶体管要粗略得多，这也是D3a和6C45都能满足本例需要的原因，而且外围电路的元器件还不用改动，当然，仔细调声的除外。两者的品质不是决定图3电路性能的关键因素，但在发烧圈内，D3a的名气显然大很多。

表3

项目	159ZJ	159ZE	159M
电感量(15%允差)	10mH	28mH	3H
最大容许直流电流	5A	3A	100mA
线圈电阻(15%允差)	0.16Ω	0.43Ω	86Ω
最大直流工作电压	500V	500V	400V
净重	1.25kg	1.25kg	0.25kg
外形尺寸代号	C14H	C14H	C6H

3. 变压器与扼流圈

T1重要性和胆机中的级间耦合变压器一样，虽然同样是铁芯变压器，因为至少要有20Hz～20kHz的频响才比较理想，这比对电源变压器的要求高多了。如果你不是一个熟练的胆机焊机派成员，购买现成的成品是比较保险的，也是比较省事的。

T1实际用的是瑞典Lundahl公司的成品，型号是LL1671/20mA，20mA表示这款级间变压器的初级线圈的设计最大工作电流是20mA。另外，它的每一组初级线圈的电感量为44H，阻抗约5kΩ，图3电路采用的是串联使用的，初级线圈就有88H，阻抗约10kΩ，这是选择电子管内阻的主要依据。LL1671/20mA目前不是Lundahl公司的标准产品，需要定制（见图7）。

扼流圈是加拿大Hammond公司的产品，3个型号的外观是相似的，所不同的是它们的技术参数，主要是电感量，其次是安装尺寸，如表3所示。

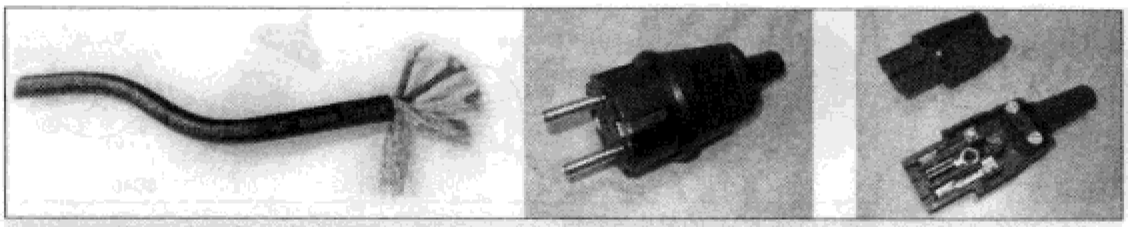


图8 电源线以及插头与插座(未按同一比例)

电源变压器是向意大利的Italtras公司定制的环型变压器，每个声道一个，电气参数在图3中已经详细标注了。工频电源变压器因为比较常见易购而往往会成为被忽略的一个环节，简单衡量它的要点有如下几个：

◆ 额定输出功率条件下的温升：在室温40℃以下，一般机箱环境，自然冷却条件下，不应该有过热损坏故障。40℃的实验环境不好找，一般25℃的室温条件下，它变得手都摸不得，就要小心了，有些产品是达不到这个要求的。

◆ 工作噪声：无论是空载还是满载，安静环境下，耳朵贴着线包，不应该有可闻的哼声或者其他声音。目前很多产品是达不到这一看似简单的要求的，仔细听一下就可以了。当然，开关瞬间的声音是不计入内的。

◆ 输出电压：在额定输入电压条件下，空载和满载的输出电压变化不应该超过±5%，用万用表量一下就可以了。

定做的电源变压器，实际的外形尺寸为Φ125mm×65mm，铁芯型号为M0，磁感应强度只用了常规设计数值的80%（13000Gs，常规为17000Gs）。

4. 电容、电阻及其他

由于测量上困难，电容的选择在业余条件下往往是凭经验和口碑，间或也有价格的因素。用听感来“收货”也往往是不准确的，同样的问题往往并不是电容引起的，但是通过更换电容有时候却能隐藏或者抑制很多原本是电路问题所造成的故障，如轻度自激造成的声音发毛等。尽管如此，补品电容之类话题很早就有了，也注定还要延续很长时间。类似的还有电阻的问题，比电容尤甚，因为在业余条件下，一般连它们的出身都很难验证，就更不用说技术参数了，电容则一般是可以做到的。因此，就电容和电阻来说，实践者的经历是往往非常可贵的，甚至购买地点也是不可多得的参考。

放大电路部分所用电容有：日本Nichicon的Super Through系列、法国Solen的MKP系列。

电源部分所用的电容有：Nichicon Super Through系列、意大利Kendeil的K01系列、丹麦Jensen的Electrolytic系列、德国Mundorf 的M-Lytic系列、英国BHC的Slit Foil系列、Solen MKP系列。

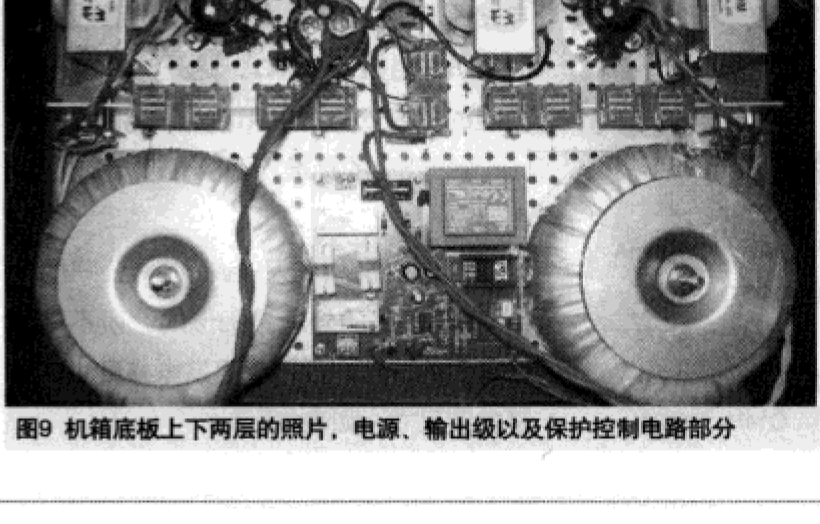
像Nichicon这样的品牌，对于晶体管放大器爱好者而言一般也是熟悉的，不过，选对经销商也是非常必要的。一些国产品牌也是不错的，关键是需要有试听的耐心，还要看这些品牌的耐心。不然的话，有可能你还没有得出结论，这个品牌的产品就已经找不到了。

普通的五环金属氧化膜电阻就可以满足要求了，对于电子管电路而言，碳芯电阻可能是最佳的选择。电阻对声音表现的影响大多也是不可复制的，因此，关注电阻本身的质量有时候更有效。

更高的要求，是线材的选择，再高一些，是外部连线以及电源插座乃至市电的品质（通常很难，即便用再生电源，对市电品质的影响一般也是有限的）。电源线以及插头、插座都是从意大利audiokit网站购买的。电源线的型号是CY3150，OFC（Oxygen-Free Copper，无氧铜）线芯，铜铝双层屏蔽，插头的型号是Schuko 1，插座的型号是PRW21A，品牌均为GOLD（见图8）。

结构布局与装配调整不可马虎

机箱是从audiokit网站买的，型号是Hi-Fi2000，两层结构有利于元器件的排



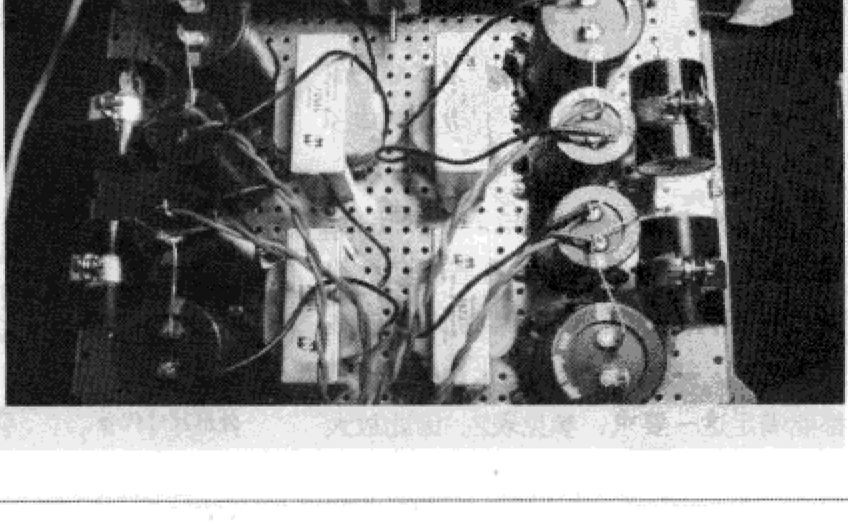


图9 机箱底板上下两层的照片，电源、输出级以及保护控制电路部分

布，足够坚固的底板也是选择它的理由。散热器当然也是必须的，设计热阻0.25℃/W，在室温不超过35℃的条件下，整机可以安全地工作。

如何布线，如何排布元器件，有很多公开的资料可供参考，主要的部分如图9所示。上下两层是大致对称排布的，两个电源变压器之间的一块印制板是保护电路。

整机电路除了保护电路，基本上是胆机制作中常用的搭棚焊，小的印制板是整流板，只是为了方便，与性能无直接联系。保护电路的选择因人因地而异，这里就不赘述了，唯一需要说明的是，如果是购买成品板，需要那种适合BTL电路保护的品种，即能同时保护扬声器两端直流电压异常的保护电路。

输入级与保护电路部分（下部的一块小印制板）布置在后面板的背部，实物如图10所示。音量电位器位于图中的正中间，通过加长杆连接到前面板上。

对于简单的电路，可以将搭棚焊理解成多层电路构件的3D装配方式，由于空间的相互隔离，显然要比多层印制板和高密度器件装配要好一些，也就不会对搭棚焊放心不下了。

如果选定了器件，电路几乎不需要调整。图3中RP1的设置是为了适应不同的输出级晶体管。如果是用图示型号，即2SK1058，V_B调整到3.5V（V_{B_L}或V_{B_R}，参见图3），输出级的静态电流为1600mA。如果用ECX10N20R，则需要将V_B微调到2.54V，对应的静态电流为1550mA。这里所说的静态电流是指流过负载一个方向的电流，不是对地的。为了准确测量回路中的电流，需要在两组电源回路中各串联一个阻值相同的功率电阻，测量这个电阻上的压降，然后根据欧姆定律换算成电流值，用2SK1058时，这个测量电阻约为6.2Ω，如果是用ECX10N20R，阻值约为6.5Ω。由于测量电阻上的压降约10V，因此上述静态电流值相当于是输出级供电电压在±30V的条件下测得的。

输入级的调整，选用D3a时，阴极电阻R3为70Ω，C1为660μF，V_P=145V时，对应的阴极电流为18mA。如果偏离上述数值比较大，可以微调R3来解决。

选用6C45时，R3和C1无需改动，V_P=145V时，对应的阴极电流为15mA，如果低频突出，可以适当增加C1的容量。选用5842时，R3不变，C1减小为440μF，V_P=145V时，对应的阴极电流为15mA。

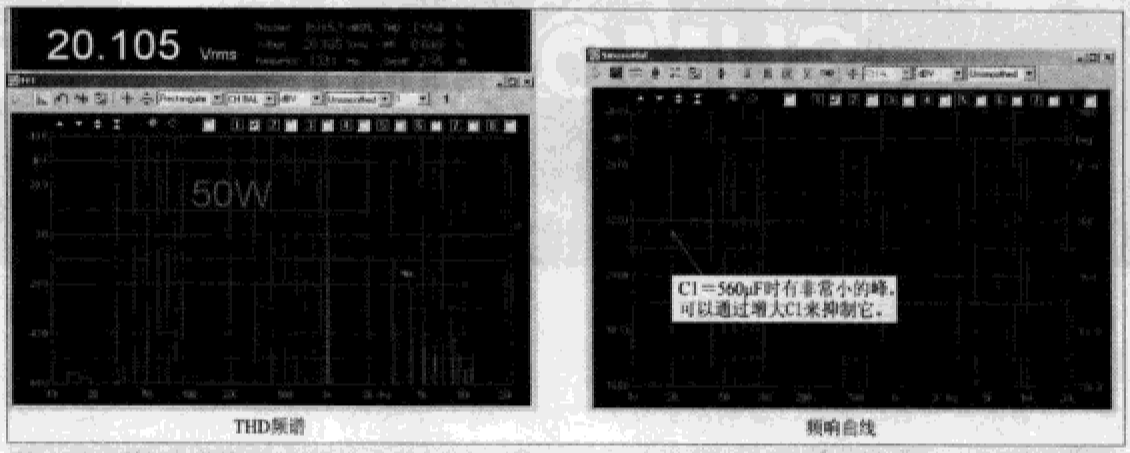


图11 主要的测量图线

结论

图3所示的电路设计功率输出能力为20W，实际测量表明（见图11），*THD*不超过1.5%时，功率输出能力可以达到50W@8Ω，即在8Ω上的功率输出能力可以达到50W。对于习惯了晶体管的爱好者，*THD*=1.5%这样的数值可能显得难看了些，但这个电路是胆石混合的，对于胆机而言，*THD*=1.5%是非常不错的数值的了。如果看到频响性能，20Hz~20kHz频域，±0.2dB允差，这样数值，无论是胆机还是石机，都是超炫的结果。

习惯了耳朵收货的爱好者可能会比较关注最后的听感评价。首先这款功放的设计目标之一是通用性，即能够推好各种音箱，无论是多音路的还是单音路全频的，其次是简单化，无论是习惯于拿电烙铁的电子爱好者还是拿钳子接线的电工，经过努力都能够做好它，其三是自然的、原汁原味的声音表现，A类电路温暖的音色是毋庸置疑的，胆石混合结构可以很好地做到胆石互补，简单的无环路负反馈电路则无相移之忧，音染也就最大程度上得到了抑制。当然，这些都是制作者费心费力之后才可能会有的体验，文字并不能恰当地表达。

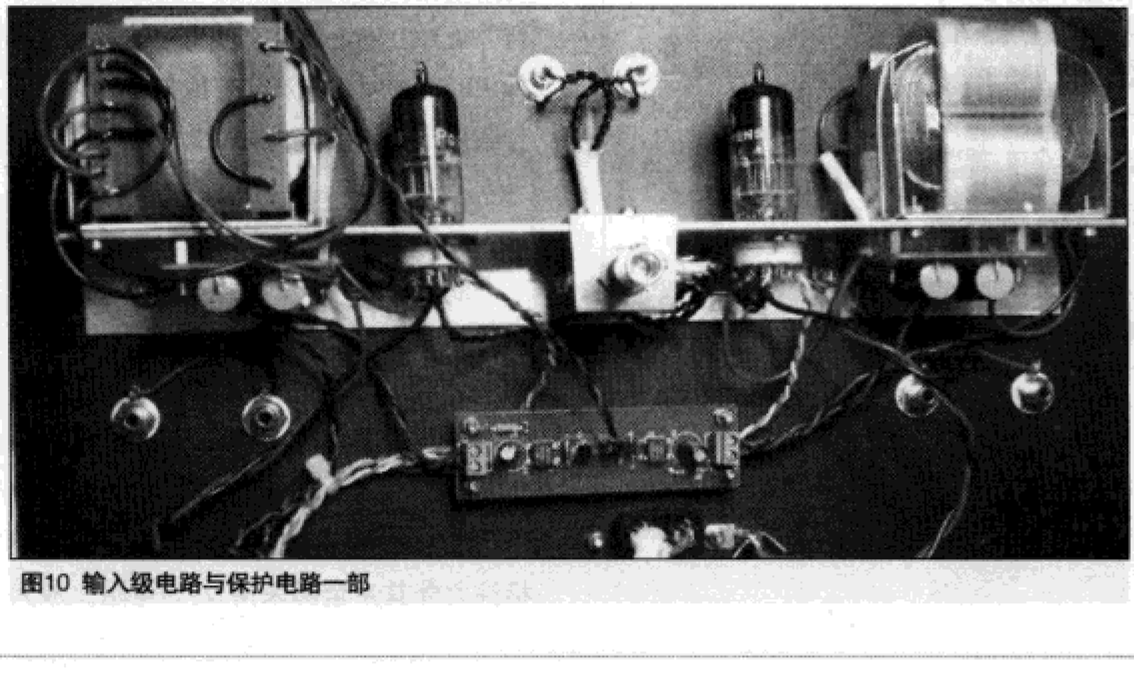


图10 输入级电路与保护电路一部

SUMO NINE功率放大器的仿制

◇HE121

SUMO是美国有名的音响品牌，其生产的SUMO NINE功率放大器自推出以来广受音响爱好者的喜爱，音响发烧界更是赞赏有加，以至一机难求。

SUMO NINE功率放大器采用circlotron电路架构，全对称平衡驱动设计，图1所示的是该机的原理图，图2所示的是电源电路图。SUMO NINE放大器与普通的单端放大电路及推挽放大电路相比有以下特点：（1）效率高。其电路设计虽然为甲类工作方式，但效率方面却比一般的甲类功率放大电路要高很多，功耗方面则比一般的甲类放大电路低许多，这是因为SUMO NINE在较小的静态电流下就可以处于甲类工作状态。这样大大降低了电路对散热方面的要求，带来的好处也不言而喻，不但可以减少机器的体积与重量，也使得制作成本得以降低；（2）末级采用同极性功率管设计。这样的设计不但大大降低了元件挑选方面的难度，使得功率管的选用在业余条件下也容易实现配对，更为可取的是可以轻松获得真正的对称性能；（3）电路工作可靠、稳定性高，无开关机冲击，具有较高的信噪比。

这次制作笔者制作了两个SUMO NINE的设计版本，一个是采用达林顿管作功率放大的版本，电路见图1，另一个是采用普通双极管作功率放大的版本，电路见图3。这两个版本各有所长，采用普通双极管版本的电路功率管的可选用范围

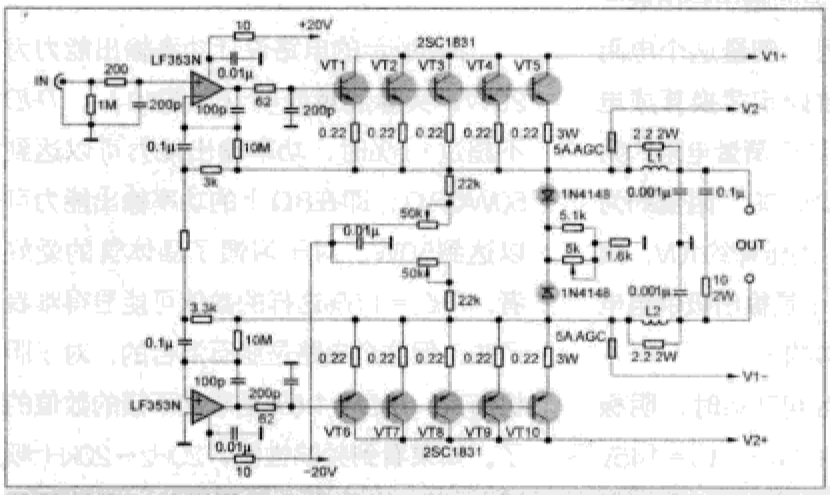


图1 SUMO NINE电路图

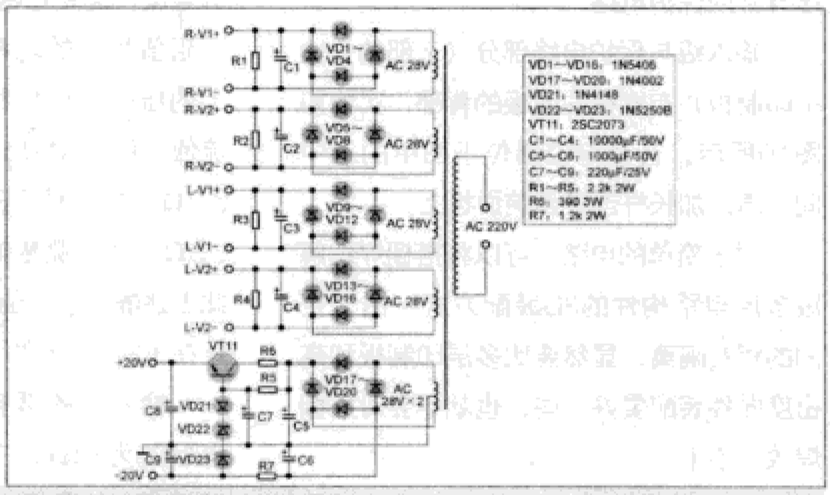


图2 SUMO NINE电源电路图

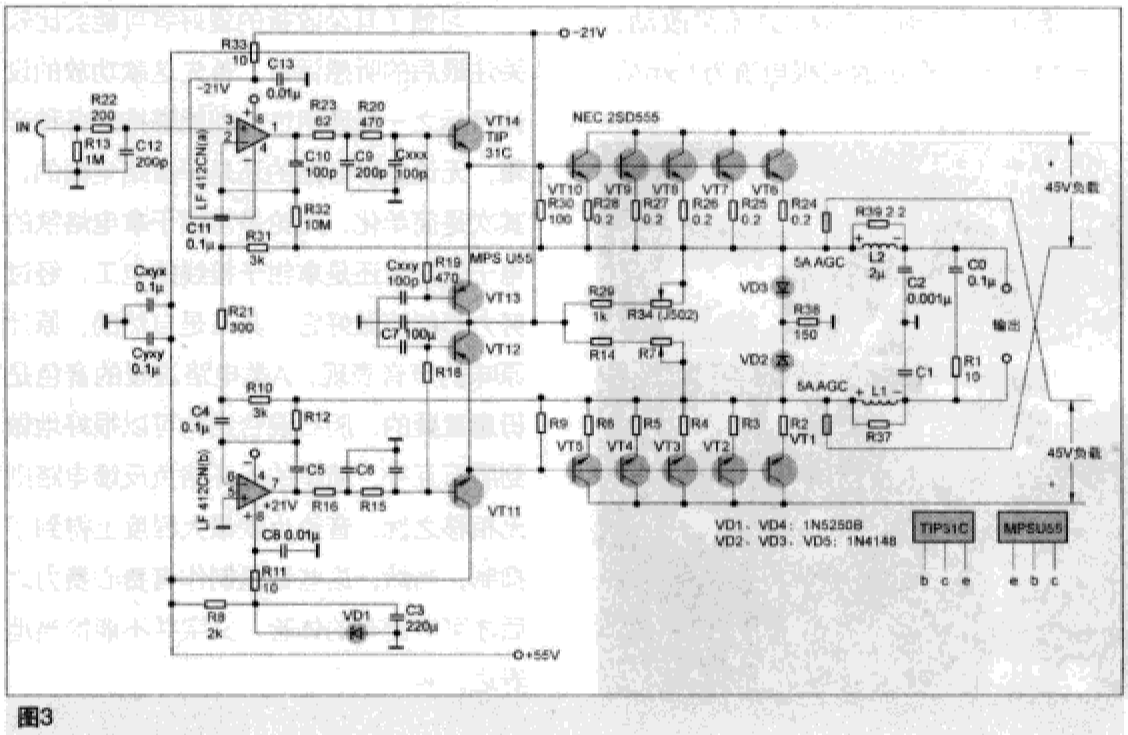


图3

较广，输出级可选用任何型号的NPN功率管，而采用达林顿管版本的电路功率管可选用的范围则较窄，如MJ11032等就不适合在SUMO NINE电路上使用，该管大信号输出时容易发生电流窜升现象。本文主要介绍采用达林顿管的SUMO NINE的制作。

元器件的选择

制作所需的元件电子市场上基本都可以找得到。晶体管VT1~VT10选用原电路设计型号2SC1831，VT11选用2SC2073，整流二极管VD1~VD16选用1N5406，VD17~VD20选用1N4002，运放可用LF353N或LF412CN，电阻除有专门标注之外其余全部采用1/2W电阻。放大

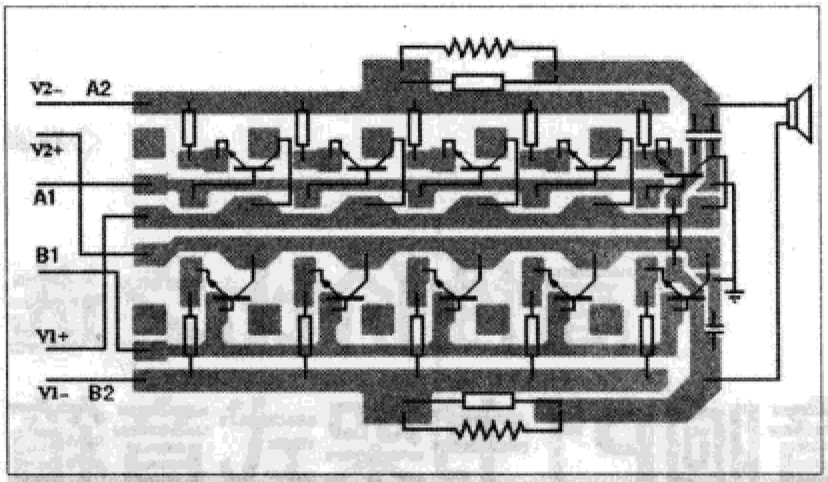


图4 功率放大PCB

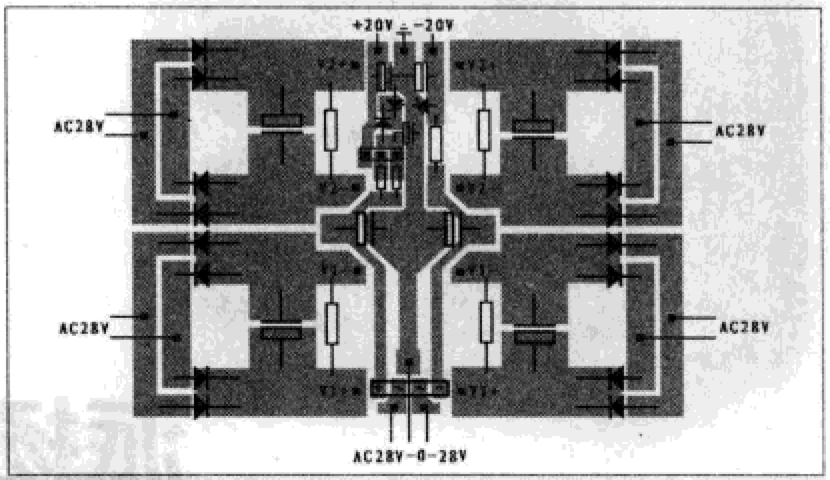


图5 电源PCB

电路部分的电容器选用银云母、独石、瓷介电容，电源部分的电容的选用只要注意耐压必须满足要求即可。L1、L2用1.2mm左右的漆包线在直径8mm的起子上绕30圈脱胎而成；电源变压器要求功率为450VA以上。

PCB的设计与制作

为了便于安装和调试，将PCB按激励、功率放大和电源三个部分分开进行布排，同时为了便于另一个版本的试制，特意将激励PCB设计成可兼容方式，PCB见图4~图6。笔者有幸得到与原机相仿的散热器，这对判断电路电流工作点有很大的帮助。

调试

对照电路图安装好所有元件后，首先要对电源部分进行测试，确保每组电源都能正常供电。关于电源部分这里要特别说明一下：两声道所需的4组40V电源一定要各自独立，±20V电源则可以两声道共用。电源部分调试正常后就可以对电路进行调试了。该电路每声道共有3个可调电阻，两个50kΩ用于调整静态电流，5kΩ可调电阻用于控制峰值电流的幅度，首先将两个50kΩ可调电阻阻值调至最大，将5kΩ可调电阻阻值调至中间位置，将电流表串接在40V电源中，通电后分别调整两个50kΩ可调电阻使每臂的静态电流在400mA左右，即每个功率管为80mA左右，接下来就可以接信号试听，边欣赏甜美的音乐边进行细调了。

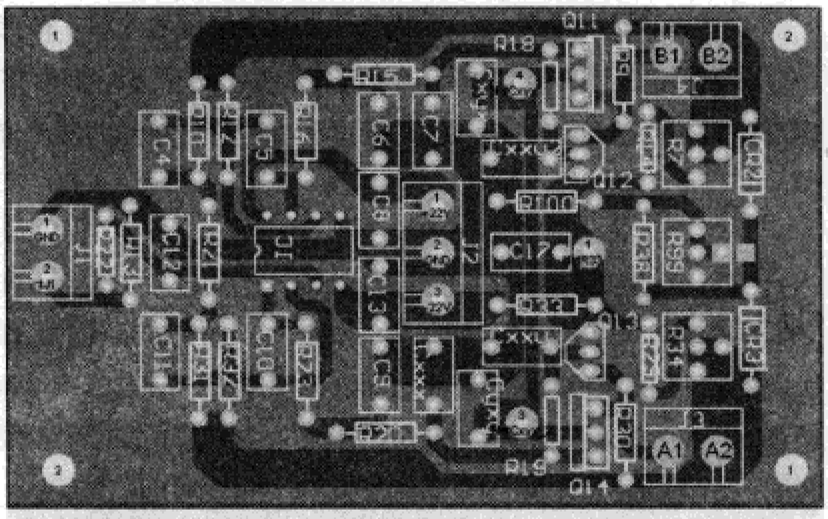


图6 激励级PCB（图中电子元件符号不是国标）

SUMO NINE放大器在安装和调试过程中的图片如图7~图10所示，其安装、调试极为简单，易于成功，非常适合DIY爱好者仿制。

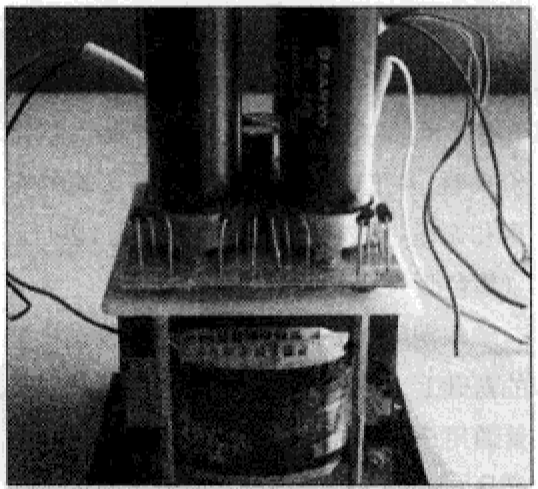


图7 电源组件

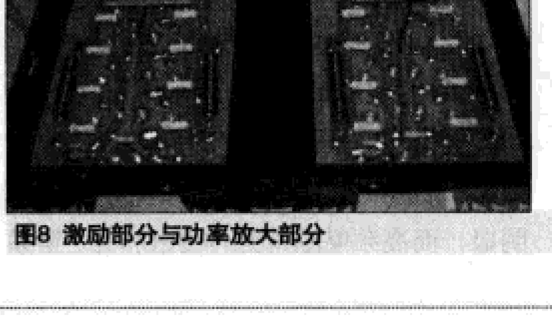


图8 激励部分与功率放大部分

图9 组装过程

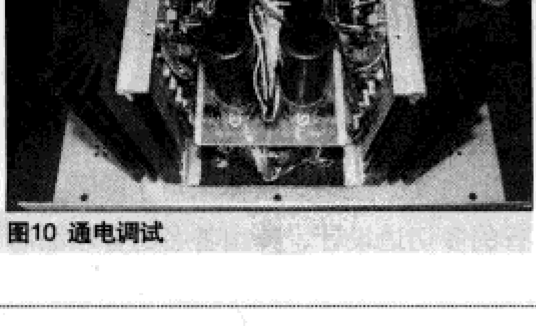


图10 通电调试

◇独幽

高性价比之选 派扬音响P1书架式音箱

在本刊2011年9月号，笔者曾撰文较为详细地介绍了来自派扬音响的HIFI-4书架式音箱。在那次评测中，该款音箱给笔者留下了深刻而美好的印象。HIFI-4的售价虽然不足千元，却能够凭借厚道的用料、扎实的做工与出色的声音素质，令它相比价贵数倍的进口音箱也不遑多让。这无疑令笔者对中低售价的国产音箱另眼相看，并由衷地赞叹派扬音响的务实策略和厚道作风。

近期，欣闻派扬音响推出了新款书架式音箱P1，不禁想了解一下，毕竟上次的HIFI-4已然相当超值，那么这次派扬音响又将为发烧友们奉上怎样的发烧大餐呢？从市场定位来看，P1在派扬音响的产品线中略高于HIFI-4，但却应用了更高级的原木贴皮和更新颖的外观设计，此外单元的应用和分频器的设计也全然不同，由此可以看出，P1绝非HIFI-4的简单升级，而是完全不同的两款产品。从定价来看，P1又一次凸显了派扬音响的实惠和亲民，该箱的公开报价仅为1280元（黑色版为1200元）。

根据厂家资料介绍，P1是在畅销机型的基础上，总结了多年来用户的反馈以及普通用户器材的综合素质上而设计的一个产品。P1的设计还得到了丹麦音箱设计师G.Stanfer先生的技术指导。G.Stanfer先生早年曾任职于多家著名国际音箱产品研发部，对音箱的设计有独到的设计理念。

做工与用料

与上次评测的HIFI-4书架箱相比，本次评测的P1首先给人的印象就是箱体设计上的改变。P1的箱体采用了国际上流行的多切边设计，美国著名的音箱品牌Avalon（盟主）旗下的众多音箱都采用这种外观设计，此种设计不但令外观更加美观，而且具有特殊的声学考量，能够有效降低前障板衍射效应对声音重放的影响，令听感更加自然。

对于一款合格的箱体而言，仅有科学的构造是不够的，为了尽量减少扬声器单元在工作时产生不必要的谐振，箱体必须有足够的刚性。P1的箱体采用厚实的MDF板材制作，前障板的厚度为3cm，为了令箱体更加结实稳定，在箱体内部还加设了“工”字形加强筋，在斜角和侧边等容易产生振动的部位都进行了加固处理。

在表皮处理方面，P1采用了原木贴皮，有两个方案供消费者选择：一种是巴西进口酸枝木皮，另一种是巴西进口水曲柳黑色木皮。为了保证外观的圆滑细腻，表皮采用了两遍腻子、两遍底漆、两遍环保面漆的处理方式，这对于一款千元级别的音箱而言，实在是难能可贵，由此也可以看出派扬音响精益求精的作风。

在音箱的核心组件——扬声器单元的选择上，P1同样可圈可点。P1的低音单元为丹麦的6.5英寸NRSC纸盆扬声器单元，由于厂方申明此款单元为OEM产品，因此我们在拆解过程中，并未发现该单元有任何的品牌标识。在单元背部包裹着铝制散热罩，无法直观地看到内部磁钢的形态，不过该款单元做工规整，应该是正规产品。高音单元为派扬音响根据这只低音单元而特别设计的、具有自主专利权的1英寸钛膜高音，在该高音单元背部同样无任何标识，也全部被严实地包裹着，细节无从得知。

高品质的分频器是一款音箱成功的必要因素，设计成功的分频器不仅能够令扬声器单元各伺其职、取长补短，更能够彰显设计师和厂方的声学理解与独特审美。派扬音响在P1上采用了定做的MPT分频器专用电容、高级无极卧式电解电容，高精度电感线圈、大功率无感电阻及双面FR4加厚铜箔线路板，这样保证了分频线路的稳定性。高纯度无氧铜箱内连接线和接线柱直接与分频器相连的设计都力求减少信号的损失。

实际测试

图1所示的是派扬厂方公布的频响曲线测试图，从这一测试结果来看，P1的表现相当不错，低频基本从300Hz处才开始略有下降，100Hz~30Hz处的滚降比较明显，而高频能顺滑延伸至20kHz，全频

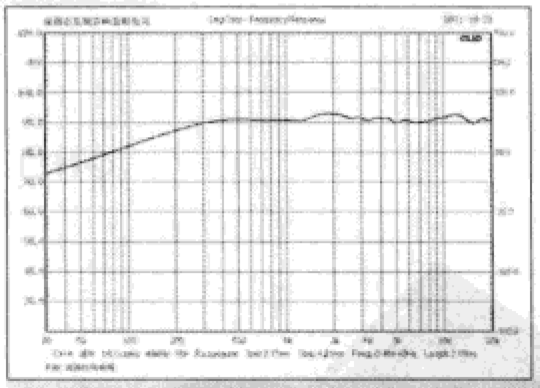


图1 派扬P1官方频响图

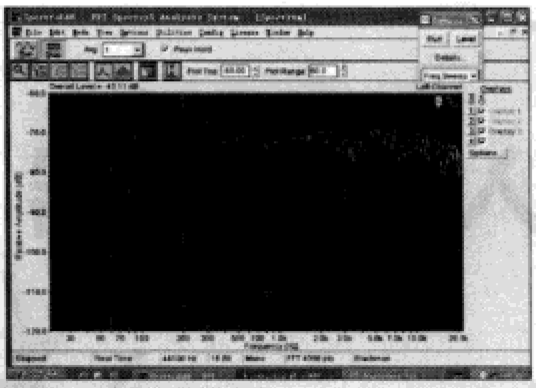


图2 本刊实测P1频响图

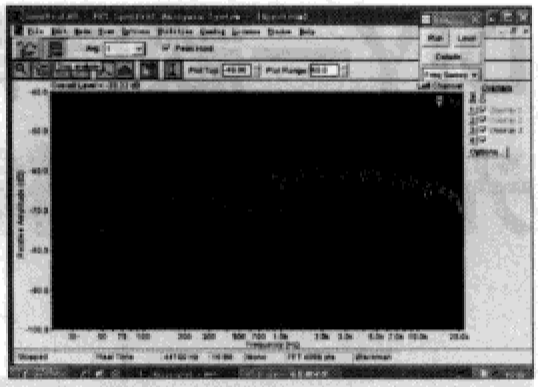


图3 本刊实测HIFI4频响图

的曲线非常平坦，无明显的波峰和波谷，这一表现即使是在贵价数倍的进口产品之上也是非常难得的。

但厂方的测试毕竟是在严格的消声室环境进行的，绝大多数发烧友的聆听环境不可能达到这个标准，那么在普通的听音室内，该箱会是何种表现呢？本次评测中，我们选择了《高保真音响》的听音室进行了一次对比测试，我们可以将本次测试结果与上次在同等环境内进行测试的HIFI-4进行一个对比。

该听音室面积约40m²，进行了软包吸音处理，合成木质地面，室内放置的物品较多，混响时间恰当，为比较典型的听音环境。在测试中，我们使用了SpectraLAB这款声频测试软件，收声话筒垂直放置于音箱正前方大约70cm处。

经过多次测试后，软件合成出了如图2所示的P1的频响曲线图，从该测试结果中我们能够发现，该箱的低频大约从300Hz处就出现了滚降，而后在大约200Hz处有一个小的抬升，随即出现转折后，在100Hz处又出现一个波峰，随即开始滚降。中频段3.5kHz附近有一个小的波谷，这正是人声表现的主要频率。此频段的凹陷很有可能导致人声表现出现一些问题。高频能够伸至20kHz，但其间的波动较大，推测应该与该箱应用的钛振膜高音单元的高谐振有很大关系。但我们能够发现，厂方为了减少金属膜高音尖锐、嘹亮的听感，从大约5kHz处开始，对高频部分进行了适当地衰减，这就导致了频响图上5kHz～20kHz这一频段看起来是略微向下的趋势。这一调整按照经验来推测，能够令高频部分的表现较为顺滑，不会过于尖锐。

对比我们先前测试过的HIFI-4（见图3，请注意，由于两次测试时软件的"Plot Top"数值不同，本次为-60，上次为-40，因此波幅变化图不在一个数量级），我们能够发现，全频段范围来看，P1相比HIFI-4要更加平直一些，后者在大约400Hz处有一个明显的波谷，而前者较大的波谷出现在150Hz附近，这一频段相对于人耳而言已经不是最为敏感的区域了。两者的共同点在于对高频的处理，它们都采用了略微弱化的处理方式，令高频更加顺滑，这样一来，大大降低了很多中低档音箱容易出现的高频尖利、刺耳的风险，倒也不失为一个策略，但如此处理的方式，势必会牺牲一部分高频的解析力与空气感。正所谓"甘蔗没有两头甜"，对于这个价位的产品而言，笔者认为"稳妥"是首要考虑的因素。

需要重申的是，本次测试从环境到测试设备均不够严谨，最终结果仅作为一个参考，但在相同环境下测试的两对音箱却有着不同的结果，也能从一个侧面说明问题。

实际听感

本次试听我们选用了英国Meridian 588 CD机作为音源，前级功放选用国产奥迪逊（Audixun）211西电特别版，分体后级功放选用美国CODA的TM，连接线材全部选用高档发烧线材，就器材的品质而言，搭配派扬P1可谓绰绰有余。

在全频带的测试中，我们选用了Maxence Cyrin的《Modern Rhapsodies》，该组合能够较好地重现大型钢琴的形体感与动态，高频的延伸尚可，虽说缺乏一些高档音箱上才有的细节和空气感，但胜在听感柔和服帖，并不毛躁。

高频的表现方面，我们以天龙出品的《莫扎特第二小提琴协奏曲》来测试，该组合能够将小提琴乐队的绵密和甜美表现出来，而且提琴的质感丰沛，非常耐听。

中频的表现主要以人声来进行测试，女声的表现没有什么大的问题，从容过关，但在测试男声录音的时候，发现了一些问题，例如在表现布莱恩·特菲尔（Bryn Terfel）或者艾伦·泰勒（Allan Taylor）这种低沉的男声时，该箱所表现出的人声欠缺连贯性，感觉歌手的喉部发声较多，而胸腔和腹腔共鸣欠缺，这就导致了人声听感的差异化走向，这一点与高端的产品仍然有较明显的差距。之所以导致这一现象，极有可能就是与前期测试时发现的在3.5kHz左右的那个波谷有关。

总结

从HIFI-4到P1，派扬音响品牌下的两款音箱都给笔者留下了深刻的印象，在音响产品已经向奢侈品方向发展的今天，竟然还有如此高性价比的产品问世，实在是令人意外和惊喜。虽然P1有些许的缺憾和不足，但它务实的作风、诚恳的态度和亲民的定价都令人感动，再结合其扎实的做工、靓丽的外观与不错的声音表现，实在是广大平民发烧友的高性价比之选。

DIY一款具有光纤/USB输入的解码器

◇梓门

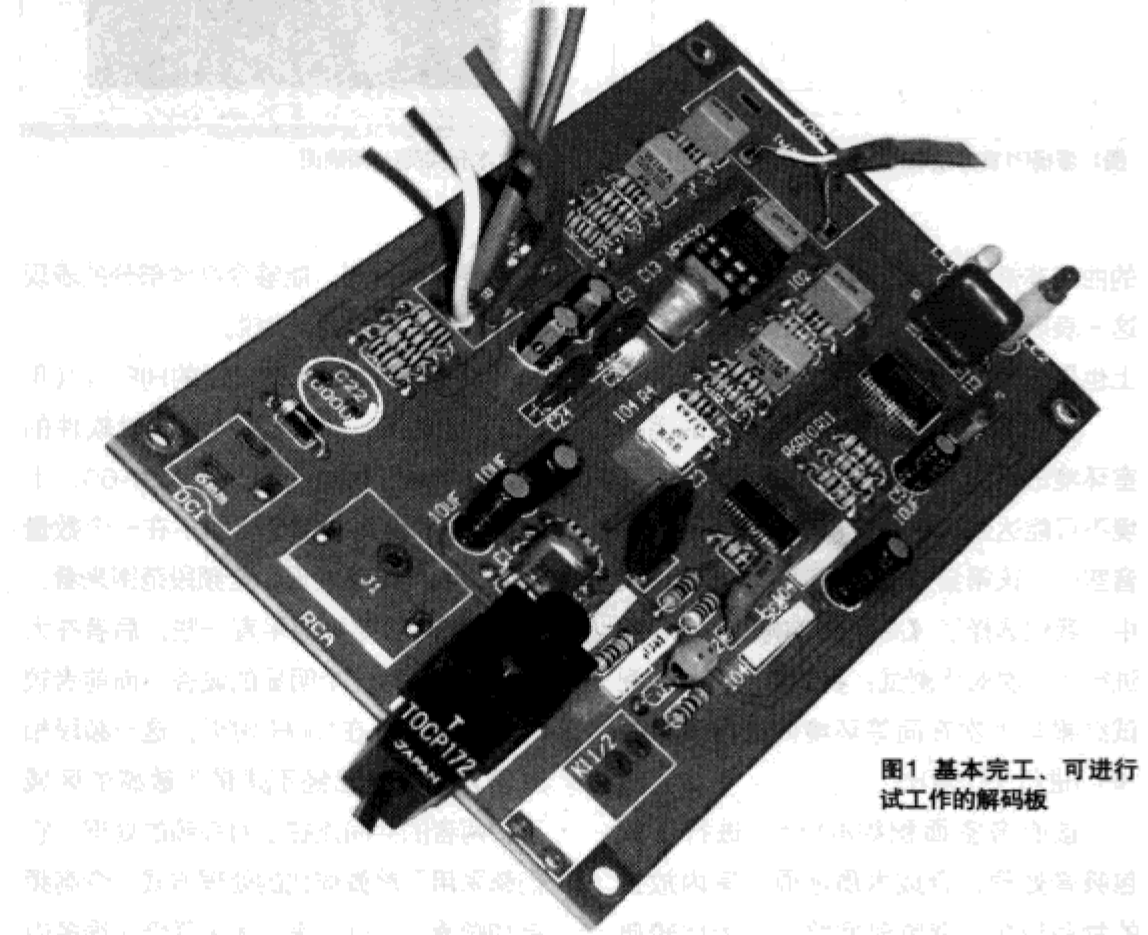


图1 基本完工、可进行试工作的解码板

解码器能干什么呢？可以升级老CD的DAC，还可以作为Hi-Fi级的计算机解码器。最近笔者拿到一块基于"DIR9001+PCM1793+ OPA2134"的印制板，勾起了笔者马上动手的欲望。在原有印制板的基础上进行适当的改进，制作了这款具有USB、光纤（可以增加同轴输入）两种输入端口和光纤输出端口的解码器，如图1所示。

"DIR9001+PCM1793+ OPA2134"这样的组合是当前DIY圈内流行的解码器电路构成，如知名的缪斯1793DAC等，《无线电》杂志2010年与一些商家合作推出的解码器，也大多是类似的电路。作为CS8412、CS8414的优势竞争者，基于DIR9001的解码板更是不计其数。

由于CD机已经退出了主流市场，很多过去我们只能想想的经典机型，现在能够以我们可以承受的价格拿到二手的来把玩了，这类CD机的性能可是远比当前贵得多的SACD机、DVD-Audio播放机好多了，就更不用说与DVD和蓝光DVD兼容机（单独的DVD-Audio播放机极少）相比了。而且因为CD音乐软件丰富，这类CD机就更值得把玩了。由于一些经典CD机的年代有些久远了，面对数字音频技术日新月异的发展，可能有些落伍了，用新IC对新老技术进行一下比较，那可是其乐无穷的事情。

如今，带有光纤/同轴输出端子的计算机主板已经普及了，利用独立的解码器来欣赏Hi-Fi计算机音乐是更爽的事情，单从音乐的角度来看，远比娱乐级的计算机声卡有趣得多了。要知道，直到今天，专门为音乐欣赏而设计的声卡要么没有，要么也非常昂贵，即便是千元以上的创新声卡，那也是针对家庭娱乐市场的。

如何才能使DIR9001和PCM1793的应用电路形式简单一些

针对DIY市场，这块印制板上的DIR（Digital audio Interface Receiver，数字音频端口接收器）部分尽量简化了所用IC的外围电路，这样既能满足DIYer们的一般需要，又不至于使电路看起来很复杂，这是这块成品印制板的主要优点。

单片DIR集成电路DIR9001为美国TI（Texas Instruments，德州仪器公司）公司的产品，是DIR1703的优化版，更适合于消费类产品市场。尽管DIR9001的低"jitter"特性（50ps）得到了爱好者的一致好评，一下子就把至今仍然是最知名的CS8412/8414（jitter典型值200ps）比了下去，也比DIR1703低了不少（jitter典型值75ps），但因此说DIR9001就是目前最好的DIR，也是有些片面的，毕竟一项参数不能决定一片IC的所有性能，即便是重要的参数也是如此。

"jitter"的中文参考译名之一是"时基抖动率"。简而言之，就是你手上的手表走时有多准。对人而言，尽管手表的准确率是重要的，但也不是越准越好，不要说精准到ns，就是ms级也不是一般人用得着的。衡量"jitter"的参数是时基（时间基准）偏差，单位是ps（皮秒），指的是一个时钟周期内的时间误差。对于数字音频信号而言，要想在传输和编解码过程中保持不变，准确的时间基准是非常必要的。因此"jitter"的大小很重要。

DIR的功能是将符合S/PDIF（Sony/Philips Digital InterFace，索尼和飞利浦数

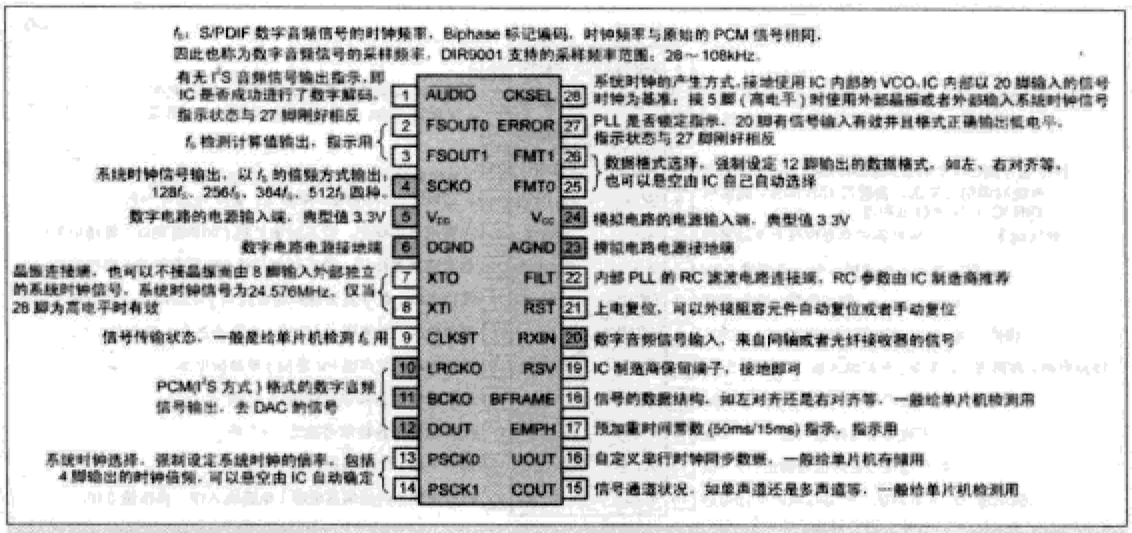


图2 DIR9001的引脚功能说明

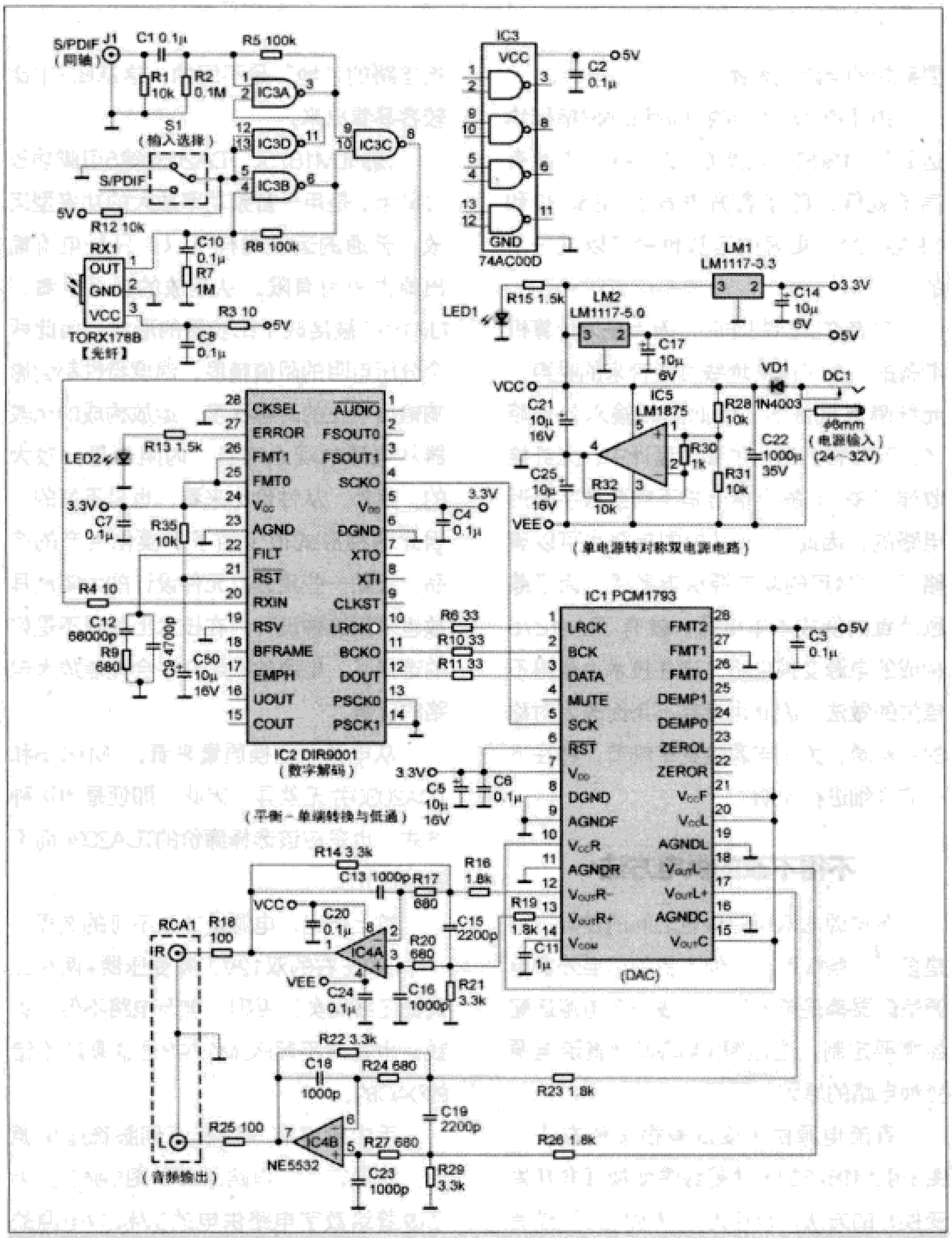


图3 市售印制板原有的电路原理图

字接口）传输规范的“两相标记编码”数字音频信号转换为符合I²S传输规范的PCM（Pulse Code Modulation，脉冲编码调制）数字音频信号。从形式上，是数字到数字的解码变换，从传输方式上，是从单线到四线的转换，前者有利于减少远距离传输系统的复杂性和传输成本，后者有利于“数字→模拟”变换。

贴片封装的DIR9001有28个引脚，除了地线和电源，我们真正想用到的其实只有数字输入、数字输出，如图2中灰色引脚所示。因为DIR9001内部的数字与模拟电路是独立供电的，因此它们有独立的引脚，图2中涂成灰色的引脚就显得多了些。

在涂灰引脚的基础上，必要的状态指示、必须的外部滤波RC网络，基于电平高低进行状态和功能控制的引脚、复位电路是IC的外围电路所必须的。保留必要的功能，最后得到的电路如图3所示，这是印制板原有的电路原理图。类似的精简方法当然也是适用于PCM1793。

PCM1793是性能不错的DAC集成电路，性能更高的还有PCM1794，基于硬件控制的方法更适用于DIY。所谓硬件控制，就是像DIR9001那样，通过一些引脚的电平高低组合来实现功能和状态控制，当然，也可以用单片机来控制，但需要额外的电子开关。与此相对应的是软件控制，用单片机通过I²C总线进行控制，也可以通过适当的接口在PC上用图形界面进行更为灵活的控制。软件控制虽然让用户有了更多的选择，更适合于厂机，对爱好者而言，就显得复杂了。基于软件控制的，与PCM1793和PCM1794性能完全相同的分别是PCM1791和PCM1796。

PCM1793也有28个引脚，如图4所示。PCM1793封装与DIR9001是完全相同的，和DIR9001一样，有许多引脚的功能对于DIY爱好者而言是用不到的。

PCM1793的26～28脚是用来设定它处理的信号数据格式的，如16bit还是24bit，左对齐还是右对齐等，图3所示

的设定是24bit的I^2S格式。当然这并不是说，16bit的数据就不能处理，PCM1793会自动进行升频处理，某些性能会提高，但也会引入一些失真，因此说“升频”一定会好是不全面的。有些爱好者热衷于对CD机进行升频，恐怕也是有误区的。在比较考究的设计中，解码器电路会和输入的数字信号严格一致。

PCM1793的24、25脚是用来设置去加重时间常数的，即DIR9001对应的信号采样频率，如44.1kHz、48kHz等，图3设定状态是自动识别，同样的，在比较考究的设计中，解码器电路会强制解码电路和输入的信号严格一致。

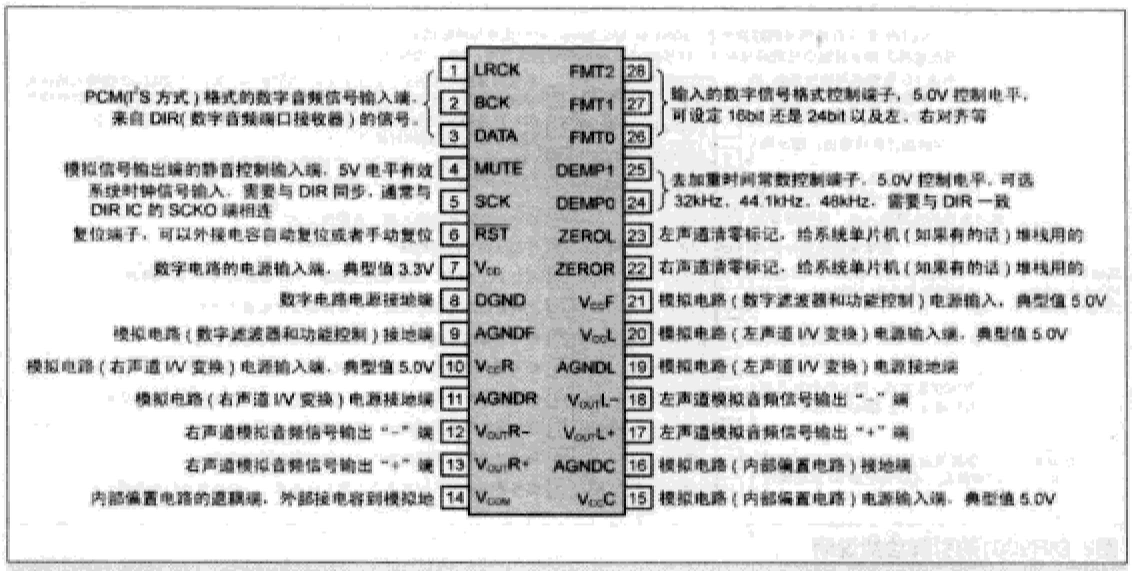


图4 PCM1793的引脚功能说明

PCM1793在图3中没有用到的引脚是给有单片机的系统控制用的，业余条件下可以不用管它。

因为PCM1793的模拟音频输出是平衡差分形式，这对于专业应用是必要的，可以提高些性能。对于一般应用，却是需要将它们转换成单端信号，以便和普通的音频设备兼容。IC4除了完成平衡到单端的变换，同时也是PCM1793的输出低通滤波器，以滤除残余的超音频信号。这种超音频信号也称为数字量化噪声。其实音频信号的数字化类似于无线广播信号的处理过程，所谓的“采样率”可以理解为广播信号中的载波频率，进行D/A变换时，就是从“载波”中把音频信号还原出来，同时尽量滤除“载波”，残余的“载波”就是“数字量化噪声”。

IC4的外围电路参数并未全部采用TI官方的推荐数值，电容作了适当的调整，容量有所增加。作为低通滤波器，截止频率由原设计的77kHz降低到了48kHz，以彻底滤除超音频信号。这种方法也是有利有弊的，如果想拓宽频响，可以适当减小C18（左声道，右声道为C13）的数值。

作为放大器，IC4的电压增益为1.83倍，由于PCM1973的模拟输出信号峰值已经达到了3.2V，经过IC4放大后已经使峰峰值达到了5.9V，折合成均方根平均值为2.1V，即2.1V_{RMS}，因此IC4之后就不需要额外的电路放大器了。

由于PCM1793的DNR和SNR指标均达到了113dB，因此IC4的选择，性能有高不就低，除了官方推荐的NE5532和OPA2134，更好的运放也是可以试一下的。

笔者在实际制作时，因为是为计算机准备的，为了隔离地线可能带来的噪声，光纤隔离是首选，因此同轴输入就省略了。而TI 官方给出的参考设计中，光纤接收端（RX1）输出信号是不需要数字整形电路的，因此IC3及其外围电路也可以省略了。IC4用的双电源供电形式，为了兼顾外置的低成本单电源，就有了LM1875构成的电源变换电路，这在技术上是得不偿失的做法，因此也废弃不用而改为对称的双电源。关于电源的更多细节，将在下一节详细进行说明。

不得不改的供电方法

单电源与双电源供电之间的差异，只是多了一条线而已，但市售的标准外置电源适配器都是单电源，三线的双电源适配器需要定制，这是图3电路设计直流电源变换电路的原因。

直流电源由单变双有很多种方法，图3用LM1875的方法是线性变换（非开关变换）的方法，也称为“浮地供电”或者“虚地供电”方法，即电源的“地”和用电电路的“地”是不同的，这从图3中比较容易看出来。

诸如LM1875、TDA2030等5引脚功放IC实际上是用于音频功率放大的功率型运放，普通的运放同样可以，只是电流输出能力更为有限。从运放的观点来看，LM1875被接成了比较器的形式，因此两个分压电阻的阻值精度、温度特性都会影响输出电压的对称程度。运放构成的比较器从电源的观点来看，内阻也是比较大的。另外，从性价比来看，也是不好的，因此这种形式很少用于规模化生产的产品。近期一些用分立元件设计的大驱动耳放也采用这种设计，在技术上就更不是好的选择了，电源的不足几乎会掩盖放大电路的优势。

从电源的变换质量来看，LM1875和TDA2030并无差异，因此，即便是用这种方式，也是应该选择廉价的TDA2030而不是LM1875。

综上所述，电源是非改不可的选择，一个5W左右的双12V工频变压器+两片三端稳压器足矣。否则，电源电路不但不省钱，也是对不起PCM1793这款素质不错的DAC的。

手中刚好有一块有源伺服稳压电源板，就是它了，电路原理如图5所示。为了改善给数字电路供电的5V和3V电源的性能，C14和C17用的是计算机主板上用

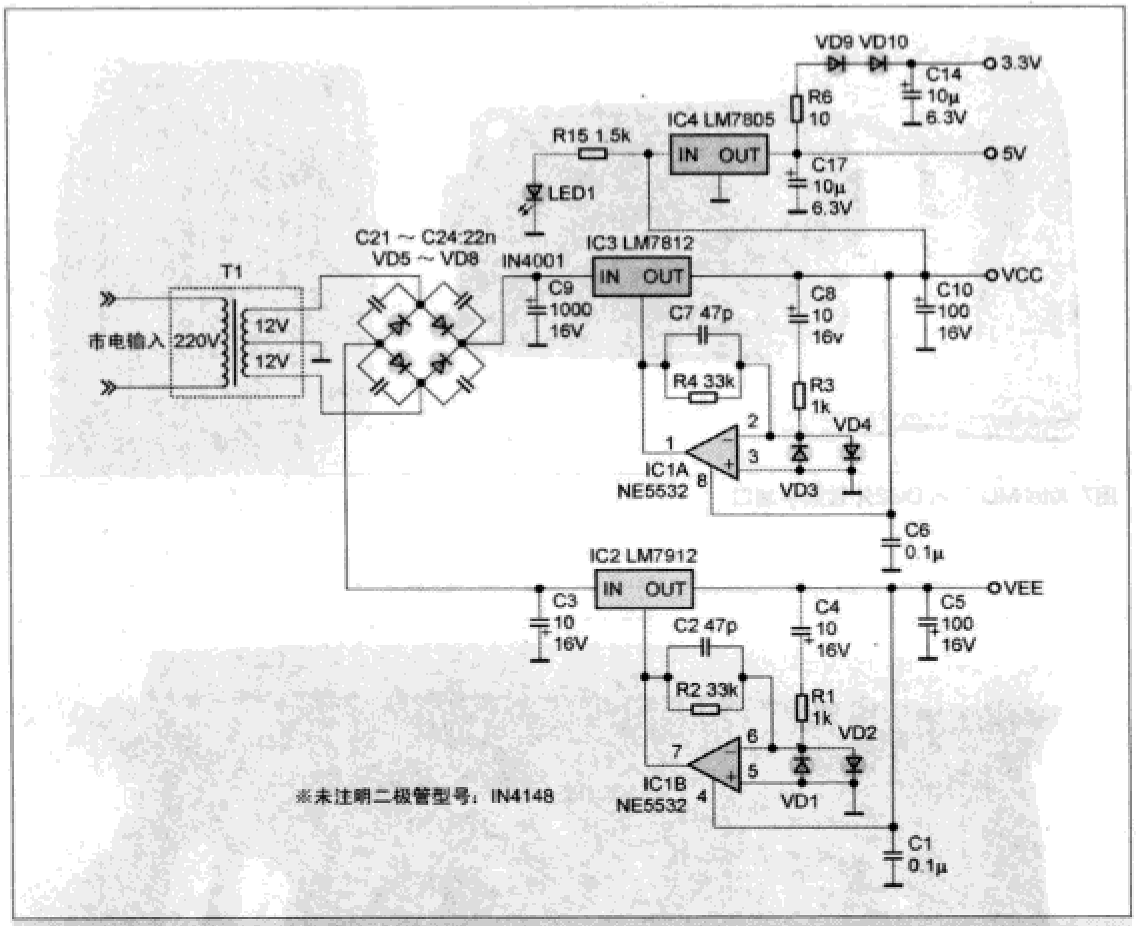


图5 实际所用的电源电路原理图

的低ESR（Equivalent Series Resistor，等效串联电阻）品种。

有源伺服稳压电源是日本松下公司开发的一种改善三端稳压器性能的电路，实际用于松下公司旗下“Technics”品牌的音响产品中，如SL-P770、SU-V90D等，这种电路在20世纪90年代发烧圈中曾经风行一时。

有源伺服稳压电源的基本原理是利用运放将稳压电源输出端的变动通过运算放大器放大后反馈到三端稳压器的接地端，从而提高了纹波抑制能力并降低了电源的内阻。与原有的三端稳压器相比，纹波抑制能力可以提高30dB左右，内阻则可以降低到原来的1/30左右。不过，因为这种有源伺服电路的带宽不是无限的，以正电源为例，C8和R3限制了频带的低端，约16Hz，C7和R4限制了频带的高端，约100kHz。要拓宽上述带宽的话，就会降低有源伺服电路的反应速度而影响稳压效果，两者是一对矛盾。上述带宽对模拟电路而言影响不大，但是对于数字电路而言还不太够用，效果也就差强人意。因此2000年后，随着音频电路中的数字部分有增加的趋势，而高性能的稳压电路和电容则层出不穷，这种电路逐渐淡出了爱好者的视线。

不管怎么说，在成本不敏感的条件下，有源伺服稳压电源还是不错的选择，更何况，这是手头现成的存货，实物如图6所示。

图5中没有舍弃原设计电路中的LM1117-5.0和LM1117-3.0，并不是因为传统的7805和二极管降压更好，而是因为笔者买到的AMS117-5.0和AMS1117-3.0质量不行，标称输入电压可以高到15V，实际上输入电压为12V就损坏了。此类低压差三端稳压器因为制造商不同，质量差异够大的，只好用手边的7805了，因为没有7803，只好用二极管替代了。

公开资料对有源伺服稳压电源有两个负面的评价，一个是容易不明不白地损坏，一个是比原来的三端稳压器还糟糕。第一个原因大多是运放过载击穿引起的，原因是，仿制版本都没有图5中的VD1~VD4这4个钳位二极管来保护运放，几分钱一个的1N4148，作用也是不可忽视的。如果还不如原来的三端稳压器的稳压滤波性能，原因可能会有两个：一个是运放的质量不好，直流伺服需要高速运放，另一个原因是，仿制版本大都不会有图5中的C1和C6，这两个退耦电容不但不能少，而且需要靠近运放对应的引脚安装。图6所示的电路板上原来也是

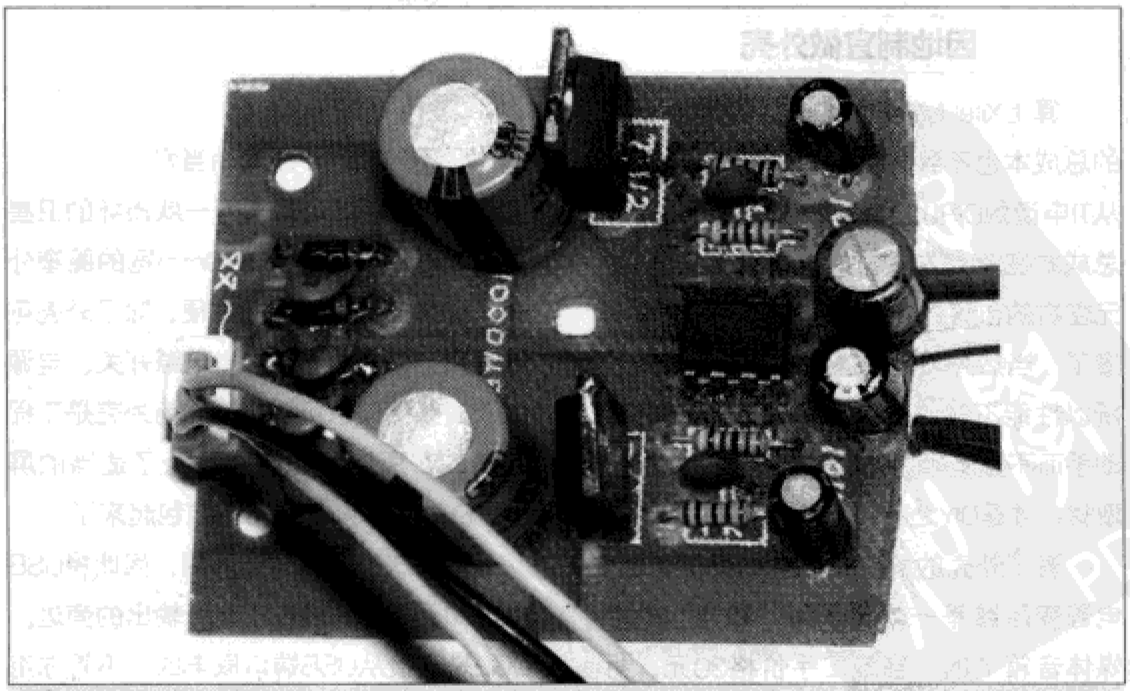


图6 实际所用的电源电路

没有上述元件的，笔者的做法是用贴片元件就近搭焊在印制板的背面。图5中的C21～C24可以省掉的，笔者手中的原版电路也是没有的。

增加USB接口，便于用计算机玩Hi-Fi

如果打算用计算机玩Hi-Fi，给这个解码器增加USB接口是非常有必要的，同时为了避免地线噪声的串扰，用光纤隔离是比较好的方法。达到此目的的方法也不复杂，因为有现成的Xitel MD-Port DG2（以下简称DG2），如图7所示。选择它的首要原因是性价比够好，20多元人民币的价格，其次，它是SONY公司为MD（MiniDisc，小型磁光盘）机从计算机中录歌设计的，能够满足MD的需要，性能也是完全能够满足这解码器需要的。标准的DG2是USB输入，光纤输出，市场上有改成USB声卡的，输出改成了耳机输出，是不能用的。有资料说，DG2有多个版本，老版本效果好，这个笔者未做验证。两个版本的电路构成是相同的，外观上的差异是图中的正方形IC的个头要明显大一些。

很多外置声卡也有光纤端口，也是完全可以用的。同时还可以比较声卡的DAC和这款解码器的不同。

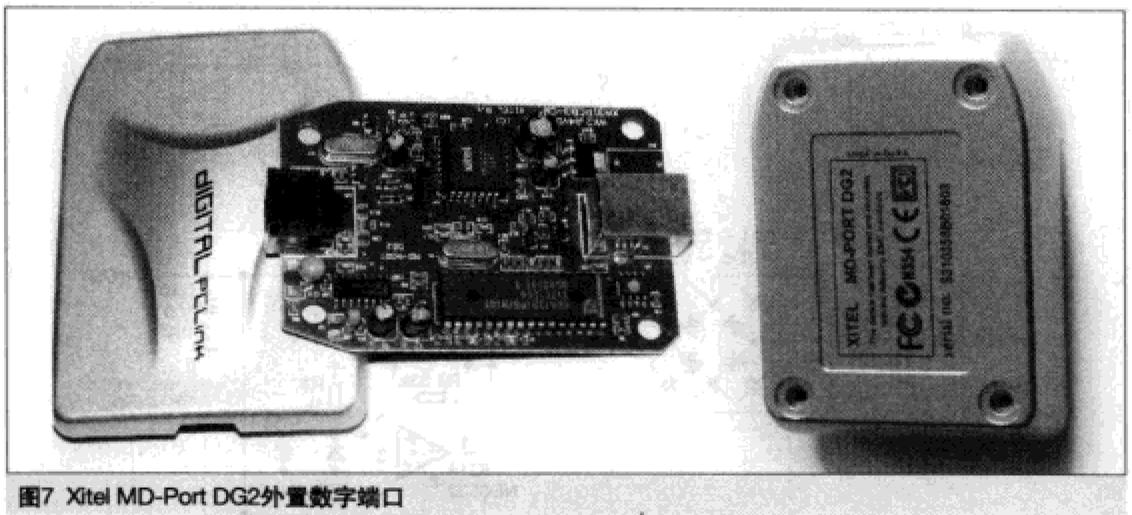


图7 Xitel MD-Port DG2外置数字端口

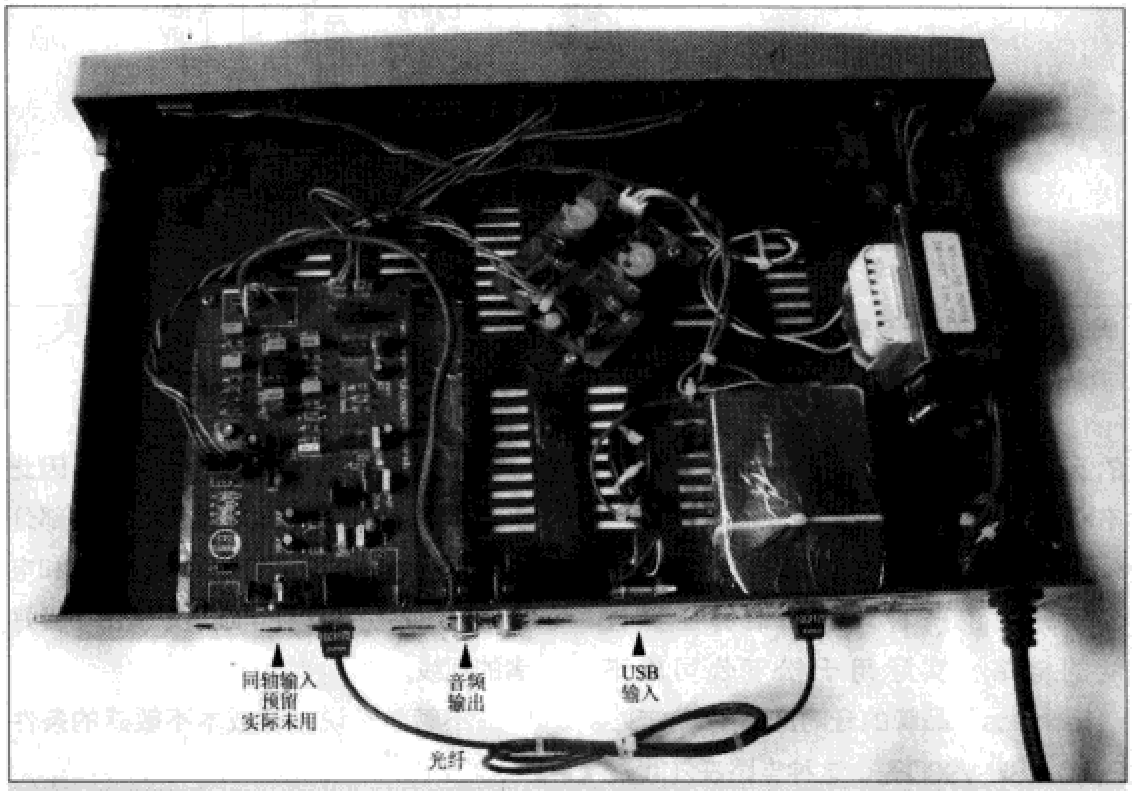


图8 解码器的布局

因地制宜做外壳

算上Xitel MD-Port DG2，这款解码器的总成本也不到100元人民币，如果能够从TI申请到DIR9001和PCM1793的样片，总成本在50元左右。如果给它配一个100元左右的市售外壳，就有点买椟还珠的味道了。当然并不是说这款解码器因为廉价所以性能不佳，而是说，DIY的精髓在于动手而不是豪华的外观，因地制宜，就地取材，才是DIY之道。

有了外壳的解码器照片如图8所示。电源变压器是一款牌子为“和光”的多媒体音箱上的，当地二手价格30元。拆出的变压器的功率有30W，偏大了，但不“叫”不“热”，质量相当好。

外壳是用5元买来的一款损坏的卫星接收机的机壳，这是330mm宽的圈塑外壳，业余条件下，开孔方便。除了外壳可以利用，外壳上的LED、电源开关、电源线、音频接口也可以用。因为外壳是工程塑料的，所以贴了铝箔进行了适当的屏蔽，DG2声卡则全部用铝箔包起来了。

因为DG2的接口在两端，因此将USB接口卸了下来，装在了光纤输出的旁边。DG2是直接从USB端口取电的，不管你用不用，它都会耗电（尽管一些人认为这是微不足道的），因此为之单独加一个电源开关也是必要的。从DG2中引出的绿线到图8的左上角，然后以红线返回就是DG2的电源开关。这样一来就只有用它的时候，它才会工作。

这样的一款解码器可以光纤输入，也可以方便地加入同轴输入，同时它还是一款有光纤隔离的USB计算机声卡，这样的声卡有两种输出，一种是光纤输出，一种是模拟音频输出，还能只在我们需要它的时候工作。说它是注入了环保理念的两用乃至多用解码器，是不是很恰当呢？

◇松贵年

“动手派”发烧友的听音室与Hi-Fi器材

小时候，我家住农村，那时农村的有线广播每天都会按时响起，简易的喇叭挂在屋檐的木梁上，连接着天线和地线。天线从有线广播杆引入，地线沿木柱入地，广播一响起全村都沉浸在欢乐之中。记得有一次，我家的喇叭声音不像以前那么洪亮了，父亲便请来乡镇广播站技术人员，他对广播线路打量了一番之后，就要我兄弟俩在埋地线的地方轮番撒尿，然后转身回去了。我有些疑惑：撒些尿，广播声音就会变大！父亲更是一脸愕然。后来喇叭声音果然特别响亮，从那时起我就对无线电广播充满了好奇，心里埋下疯狂热爱的种子。后来家里买了一台红灯牌电子管收音机，音质优美、声场洪亮，微弱橘黄的灯光，清澈美妙的音乐，让人徜徉在天籁之中，有一种被幸福重重包围的感觉。它伴我度过很多美好时光，留给我许多美好记忆。在我的好奇心驱使下，这台电子管收音机身经“百战”，不知被我拆卸过多少次，留给我很多宝贵的发烧启蒙。

读中学时候，磁带随身听非常盛行，能拥有一台音质不俗、价格不菲的日本爱华或者索尼机子是我始终梦寐以求的。为追求音场效果，采用TDA2030、LM3886等音响集成电路，自己动手，采用搭棚焊接方式，打造高保真功放电路，在二手市场收集大口径纸盆扬声器，制作自己心仪的发烧音箱，过足深藏在内心已久的发烧瘾。大学期间，笔者学习应用电子技术专业，对功放电路做过更加深入的学习和探究，采用巨型散热器、变压器，大功率场效应管等装配纯甲类功率放大器，那清澈富有穿透力的高音，甜美富有质感的中频，醇厚丰满的低频，令笔者深深陶醉，三日不闻其音，生活顿觉无味。岁月如梭，光阴似箭，在踏上Hi-Fi发烧这条不归之路后，我逐渐感悟到发烧理念永无止境，我一直在努力制作高保真功放，不断地摩机调试、改进升级，以满足不断提升的发烧欲望。每一款新打造的功放都会有创新和改进，十年前制作的纯甲类功放，当时感受音质无可挑剔，工艺堪属一流，不过跟现在制作出的成品比起来那只是刚起步的丑小鸭。我一直相信只要存在创新和改进的空间，发烧行动永不停止，折腾永不消停。

听音室的布置

多年来我一直坚持不懈，努力打造属于拥有自己个性化的听音室，希望在闲暇之时，沏壶淡茶，放几首雅致的歌曲，烦心琐事抛之脑后，尽情享受天籁之音的美妙。我所追求的听音室应能产生出华丽堂皇的音色，演绎出风情万种且悠扬浓郁的音乐味，具备鲜活生动，结像准确的现场氛围。2011年9月笔者乔迁新居，一套121m²的二室二厅高层居室，其中21.6m²的客厅就被我精心设计为富有个性化特点的听音室，其布置如图1所示。寓欣赏音乐和使用功能为一体。客厅宽3.6m，长6m、高2.7m，背墙饰以木质造型墙，内贴淡黄色壁纸，对墙贴饰2cm厚木底镶嵌玻璃钢花卉的装饰壁挂图，U型布衣沙发供欣赏音乐时加强吸音效果。

屋顶四周装饰矩形截面木质龙骨，外贴石膏板粉白，背墙顶棚均匀分布4盏LED射灯，角度可以灵活调节以改变灯光效果，地面铺设1cm厚驼色晴纶地毯。音响电源专用线是后期精心设计改造的，与室内照明，厨具等电源分离独立供电，户外配电盘使用5N铜多股单线，穿线管沿墙角地下铺设，直至器材架后面墙上的配

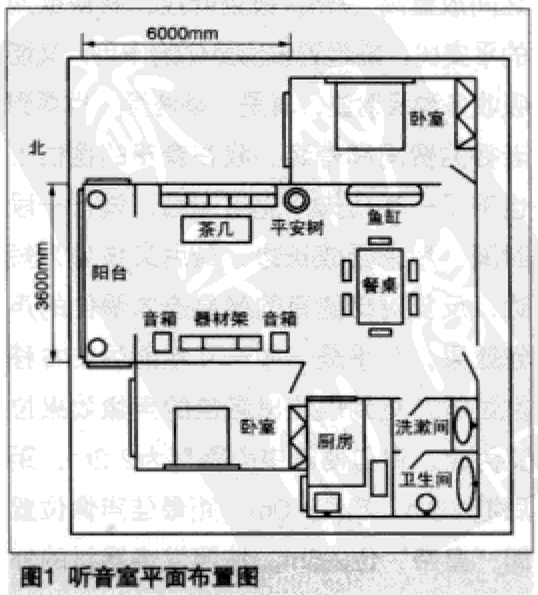


图1 听音室平面布置图

发烧器材展示

音箱：博良BLaudio时代一号
前级：6J8P自制前级
后级：自制805甲类单端胆机、813甲类单端胆机
CD：原创—达芬奇A9.8、建伍DP-7010
脚架：黑武士H-2060
信号线：Aural symphonics（CD至前级）、VDH integration（前级至后级）
音箱线：尚瑞—LN-2
电源线：Matisse（CD机）Sound Mechanics MXD10A（前级）
XLO/Ref- 10a（805、813胆机）
滤波器：Isobar（美制8孔专用插座）
稳压电源：Delixi TNDGC-3000W

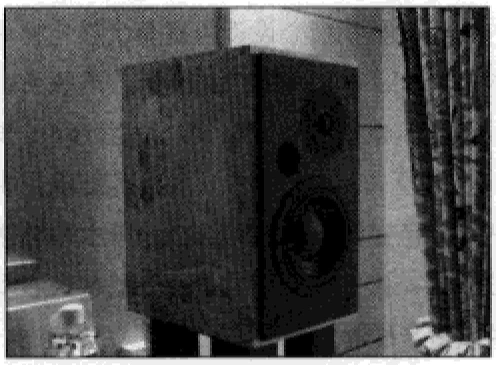


图2 BLaudio时代一号书架音箱

电盘。我采用了日本通用奇胜E4EB-M高精度空气漏电断路保护器，接插件选用质量可靠的美制原装产品。将墙体、屋顶和地面几个主要反射点做妥善的吸音处理，在阳台玄关处安装绒丝窗帘，客厅和餐厅之间放置高1.7m、枝繁叶茂、苍翠欲滴的平安树，既起到装饰美化的作用，又能吸收各种反射波，真是一举两得，也得到老婆的赞同和夸奖。我在音箱的摆位上也下了一番功夫，先摆短边，试听一段时间，后来摆成长边，最后又恢复为短边，反复对比的目的就是追求最佳的声像效果。几乎是一寸一寸地前后左右移位试听，直到确定出最佳的声像效果位置为止。目前两箱中心距离为2.2m，距后墙0.5m，箱高1.0m，距最佳声像位置即“皇帝”位2.5m。按照发烧器材的外观尺寸，精选正规厂家生产的厚4cm、长2.2m的大理石台面，不锈钢支架的器材架，器材呈一字承放在台面，用脚钉校正调平，起到调音避振的效果。听音效果背景干净、音质鲜活饱满，高频到低频的表现效果非常令人满意。

笔者是属于“动手派”的发烧友，功放和音箱都是依据自己的喜好风格亲自设计制作，个人偏爱书架音箱。BLaudio 时代一号外观设计简朴优雅，毫无夸张炫耀之感，中规中矩的音质表现，流露出平和内敛的风度，独特专业的设计理念以及被赋予的深刻文化内涵，深深地吸引着我。BLaudio 时代一号是张百良先生潜心研发的一款旗舰级产品，将中国深邃的文化与哲学理念融贯其中，整体表现简洁自然，和谐均衡。

这款极沉重的二路书架音箱采用的中低音单元是自行设计生产的6.5英寸BL-601，采用自动风冷钕铁硼磁系统与特别阻尼处理的锥盆技术，75mm的巨大铜包铝扁线音圈和一体化锥盆使得BL-601具有出色的音质，良好的功率承受力，同时具有较高的灵敏度89dBspL(1m 2.83V)。高音单元采用著名的SCAN SPEAK设计的D2905/9300，能将高频细节刻画得细致入微。箱体选用25mm高级MDF、10mm特制沥青板和5mm软木材料，三种不同性能材料相结合，形成“三明治”式音箱结构设计，杜绝箱体谐振及箱声染色。其音色准确、乐感丰富、音场深阔、结像清晰。尤其搭配纯甲类大功率功放，音效完美。音箱参数：频响范围47Hz～30kHz，阻抗8Ω，灵敏度89dB，推荐放大器功率范围30～300W，外形尺寸（H×W×D）41cm×23cm×31cm，重量16kg。

813单端甲类功放是笔者历时数月打造的一款电子管机，电路程式采用6J8P+6N8P（并）+813，电源变压器、输出变压器均采用最为发烧手法精工自制而成，高、中压电源按预定时序延时加载，866汞气整流管散发出蓝色光芒，对整机音质有缓冲、润色作用。电阻采用国产大红袍金属膜电阻，其阻值精准，音质甜美，深受发烧友钟爱。电容选用450V/470μF高品质胆电解电容，耦合电容对整机音质有很大的影响，笔者选购德国WIMA、法国Solen等各种品牌耦合电容，反复搭配、试听、比较，取舍不同品牌及容量的电容，以追求均衡、和谐、自

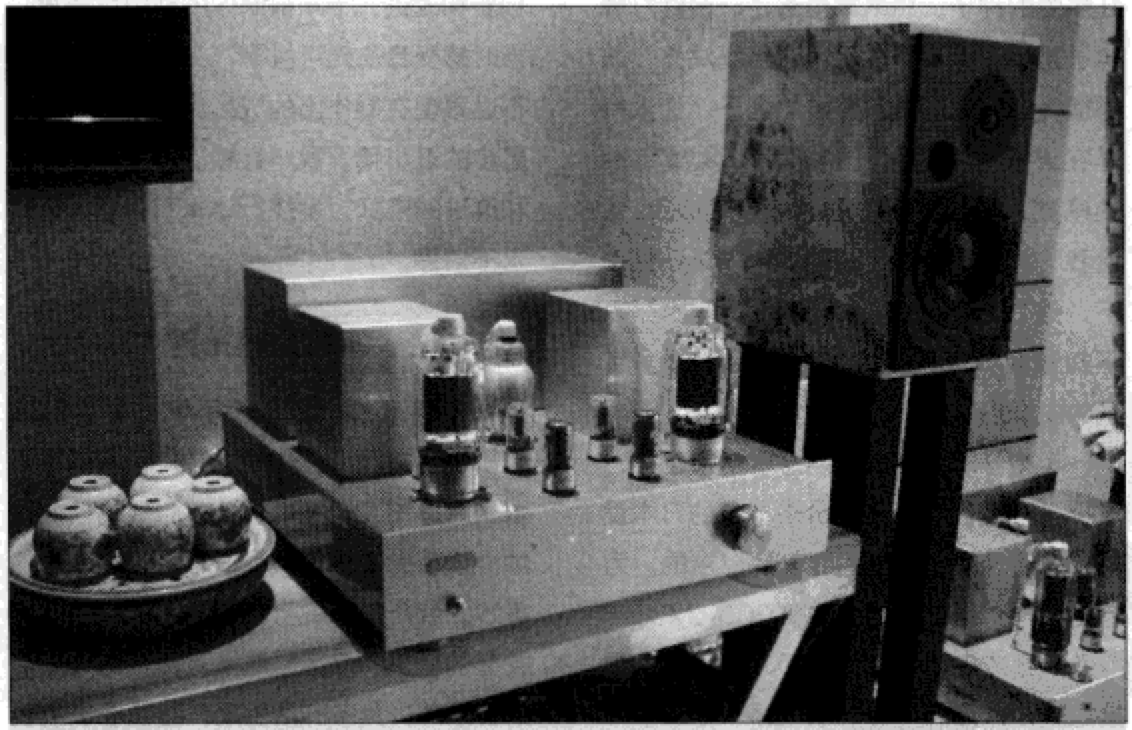


图3 813甲类单端功率放大器

图4 达芬奇A9.8 CD机

然的音质。电路采用搭棚焊接，布线整齐规矩，所有胆管灯丝均由交流电点燃，电路静态工作点是经笔者长达数月反复推敲、试听确定的。这款胆机音质清澈明亮，中低音丰满甜美，胆味浓郁。我在十几年的Hi-Fi生涯中，打造过几十部大大小小的胆机，心目中这部813是声音最甜美、工艺最精湛的电子管机之一，如果只允许我拥有一部电子管机的话，我会毫不犹豫选择它。

达芬奇A9.8CD机是在几款同价位CD机中反复比较斟酌，与813甲类单端放大器搭配之后的最佳选择，其音质清亮甜润，细节丰富，音乐味浓郁。达芬奇独特的外观设计具有怀旧情调，旋转的光盘，支架托起黑色亚克力顶盖，使人联想起20世纪50至60年代盛行一时的电唱机，现代与复古的相互交融，给人极佳的视觉效果和享受感。该机采用SANYO（日本三洋光电）激光驱动器，DAC采用CS4398（CIRRUS LOGIC USA），24bit/192kHz，模拟输出采用OPA2134，由PHILIPS7824数字伺服和MM1469电机伺服组成数字伺服电路，电路简单，能耗低。单只日型变压器分四路供电，数字伺服驱动独立供电，激光驱动器电机控制独立供电，DAC独立供电，模拟输出及滤波器独立供电。采用精加工铝合金承载托盘，用特制的弹簧将激光拾取器和承托架“悬浮”在环形碟仓和电路板之间，避振效果更佳。输出电平：1.85Vp-p，频率响应：20Hz～20kHz（±2dB），信噪比：102dB，动态范围：98dB，外形尺寸：430mm×85mm×320mm。

LN-2音箱线内芯为包覆PE的红黑双根0.12mm×32股无氧铜绞合线，外面有一根Φ1mm的单支镀银线与一层屏蔽用的铝箔，最外面是透明PVC保护层，采用24K镀金叉和簧片式香蕉头。该产品具有良好的全频段分析力，高音清晰透明，中音饱满圆润，低音厚重扎实，大动态

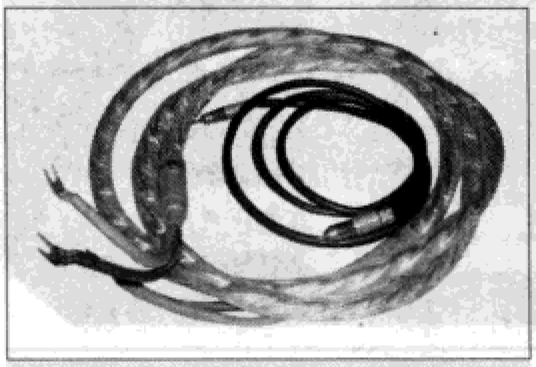
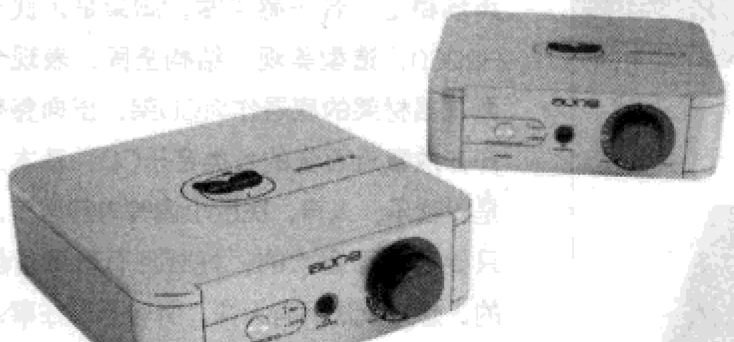


图5 尚瑞—LN-2音响线和VDH integration信号线

声场稳定，音乐感丰富。脚架是黑武士H2060，造型美观、结构坚固，表现全面。器材架的底层作为CD架，里面整整齐齐放置近百张的各类音乐CD，基本上是以弦乐、人声、民歌小调等内容居多，只要是自己喜欢的，好听且有珍藏价值的，想方设法拥有为快。听音乐思往事，每一张碟片都会勾起一段美好的记忆，播放十年前的CD，脑海尽显过往云烟。每张音乐CD都被笔者精心保护收藏起来，因为它记录着岁月的轨迹，成长中的往事，郁闷时听听，心灵得以慰藉，思想得以放松，乐观积极地面对生活中的一切。

笔者喜欢个性而不张扬的音乐风格，在中频饱满甜美的基础上，追求高频的细致入微，低频的醇厚有力，使全频段平衡协调，摒弃刻意夸张的高音或低频效果。对发烧器材不盲目迷信，品牌的发烧器材一定是被赋予独特的设计理念和深刻的文化内涵，选器材就是选择一种文化，分享品牌文化。口味与品牌文化不相融合，器材性能再好也得不到满意的认可。多年前笔者比较喜欢节奏快、低音猛的音乐，这种感觉很有魅力，驱使我制作过很多部具有这种特点的低偏置甲乙类放大器，现在这些器材基本闲置在一边。节奏舒缓、清澈明亮、甜美有质感、醇厚有弹力、具有丰富偶次谐波，这类甲类放大器具有的音乐表现深深打动着我的心弦。

2012年，一个新的规划蓝图已经产生，笔者极为迷恋直热式三极管雅致迷离的音色，预备打造一款电路程式为12AX7+300B+845C分体式胆机，电源和输出变压器均采用高纯度无氧铜漆包线，高磁感应芯片精心自制，阻容元件、接线柱、电位器均已收藏就位，整机外观布局及视觉效果均已初步敲定。这个规划犹如春笋般在地下酝酿已久，2012年春雨过后，笋尖破土而出，规划将付诸于行动，等工程完毕后，我请大家光临我的听音室，斟杯香醇的美酒，我们细品慢聊分享其中的辛酸和快乐吧！

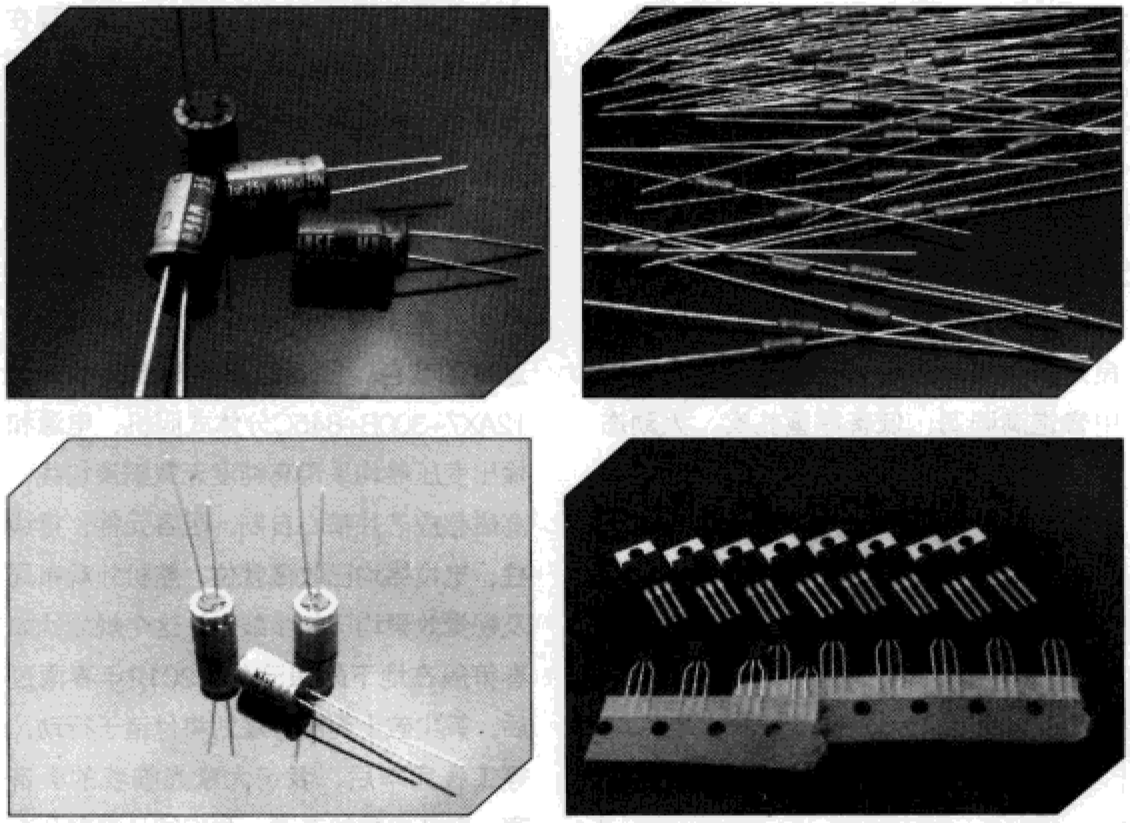


◇卢伟

近场聆听的极致表现
——PANDA MK2升级版耳放套件

第一部分 套件用料

PANDA MK2 耳放套件融合了“中国音响DIY”旗下品牌厂家aune的艺术气质和设计思想，再现平衡之美的极致。整机外形精巧细致，圆润丝滑，彰显时尚、典雅。整机设计采用完全分离的主机+电源结构，滤波电容提高到接近20000μF，同时精心选择元器件——日本ALPS电位器、德国WIMA电容、尼西康音响专用电解电容、进口DALE精密电阻以及进口MJE15030/15031功率对管，使整机性能更优秀。



PANDA MK2所用元器件

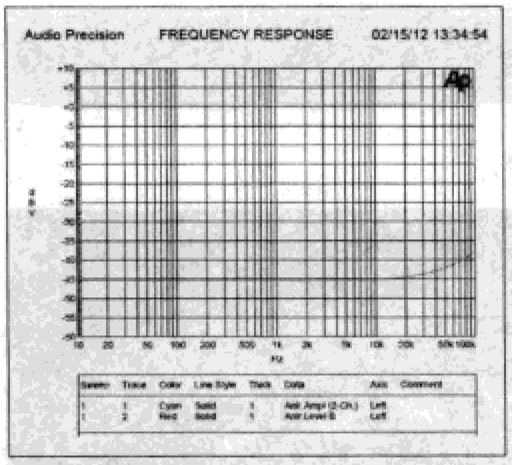
第二部分 设计特点

耳机欣赏音乐与使用音箱的感受是不同的。耳机独特的结构特点可以排除听音环境下声学条件的干扰，得到非常一致的声音表现。耳机的重放类似于音箱的近场聆听，或者可以说是近场聆听的极致表现。它可以轻易地得到清晰，细腻的声音，让音箱播放时不易察觉的细节无所遁形。这更考验着一台耳机功率放大器的性能——需要保证低电平的线性、高信噪比与优良的相位特性等。

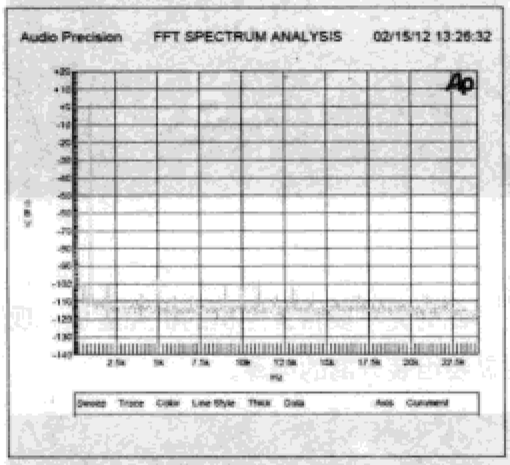
耳机放大器实质上是一台具有优越性能的小功率功放，电路形式依旧是三级电路构架（差分输入级、电压放大级与功率输出级）。

差分输入级采用JFET(结型场效应管2Sk246)，具有高阻抗输入、电压控制特性。前级差分输入具备稳定中点直流输

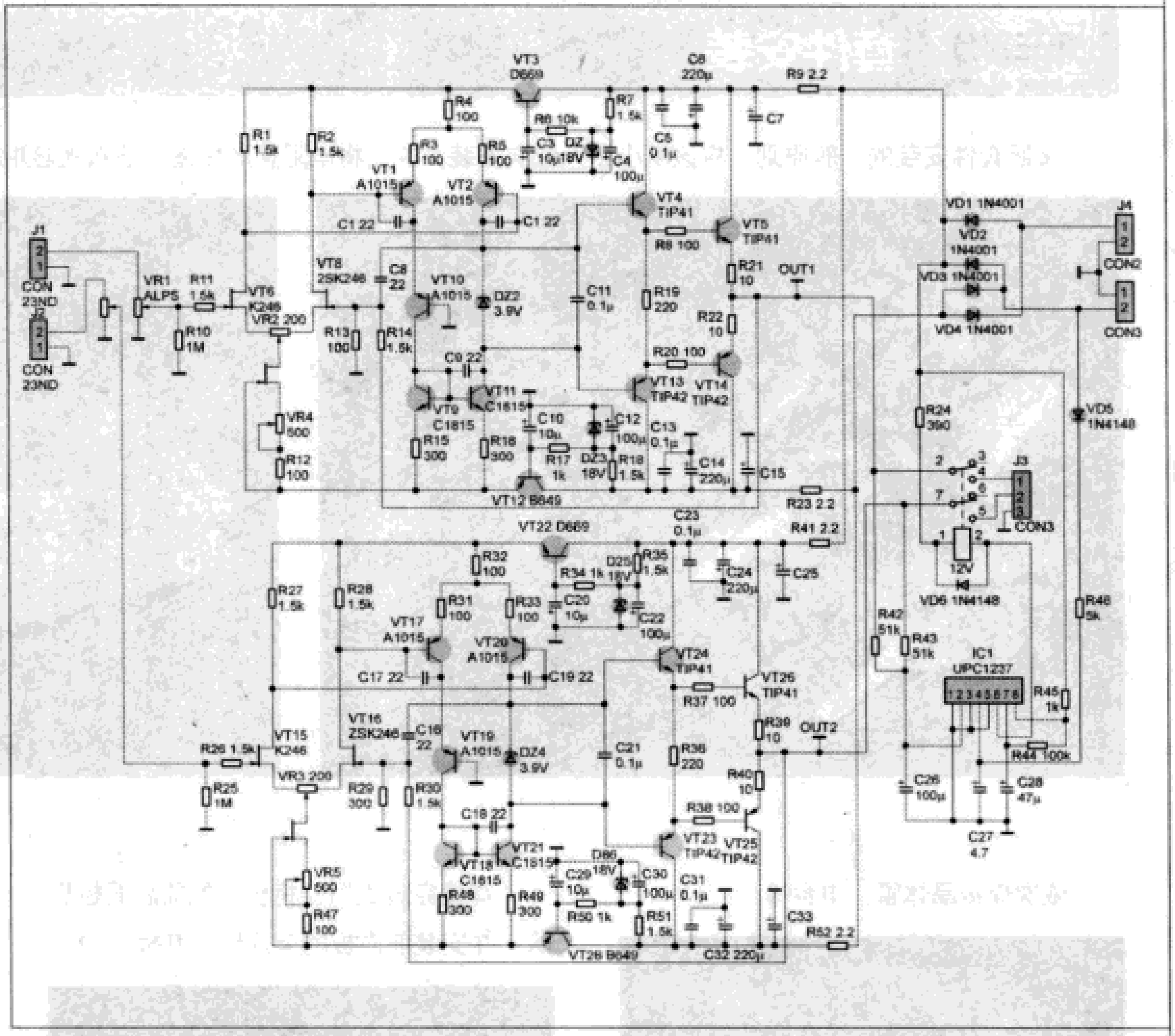
PANDA MK2的外形设计



立体声分离≥45dB（10Hz~20kHz），双声道立体感浓厚



信噪比≥110dB，这足以使耳机音场背景非常纯净



PANDA MK2电路原理图

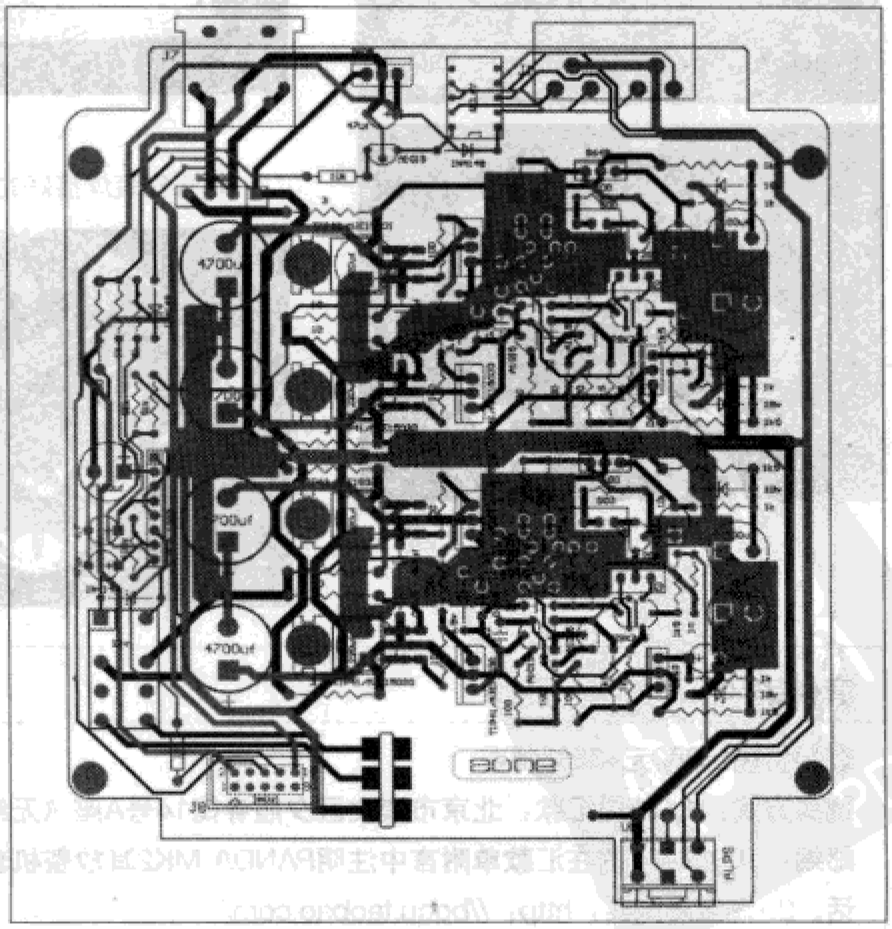
出的功能，调节200Ω精密电位器，可将输出中点调至0V。差分对管的静态电流（设计调整到1mA——测量1.5kΩ电阻时为1.5V）可通过调节500Ω精密电位器设定。值得注意的是，即使同批次的JFET静态特性曲线也并不相同，这就需要精心配对来保证输入级线性的优良。

电压放大级采用不多见的平衡式电压放大，这种形式在一定程度上提高了开环增益。增设镜像电流源作有源负载，使放大器线性更佳，保证了从输入级到电压放大级的两个路径的信号具有相同的频响带宽。

功率输出级偏置电压设置为3.9V，能使其在偏甲类的模式下工作，可避免交越失真。1.5kg铝机身散热，对功率管热融合和稳定性更优。

电源供给上，耳放输出级采用简单的非稳压电源供给，保障输出瞬时峰值功率能获得更大的电源功率供给，而电压放大级与输入级增设线性稳压电源设计，极大地减小了电源纹波干扰，提高了电源抑制能力。

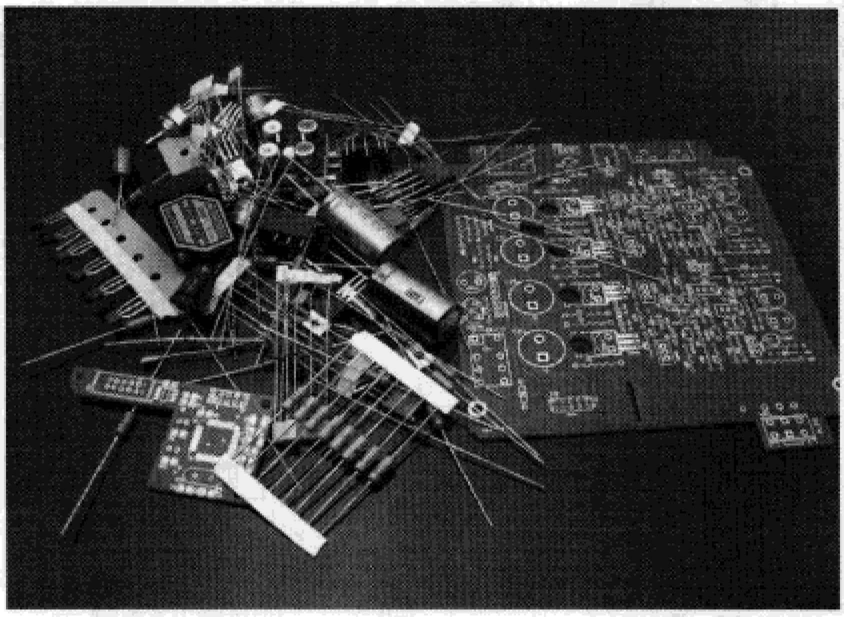
布线优良的PCB文件——采用双声道对称的布线设计及流水式的信号走向。

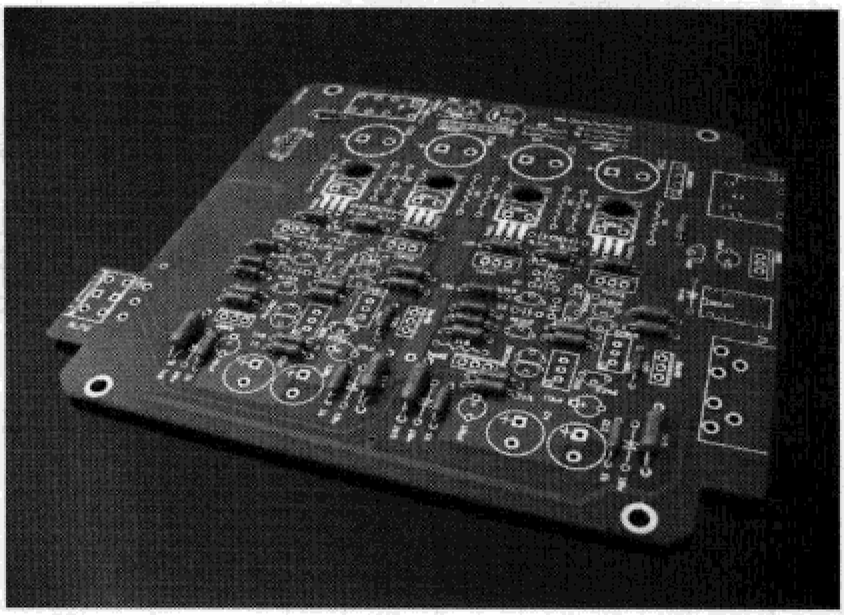


PANDA MK2的PCB

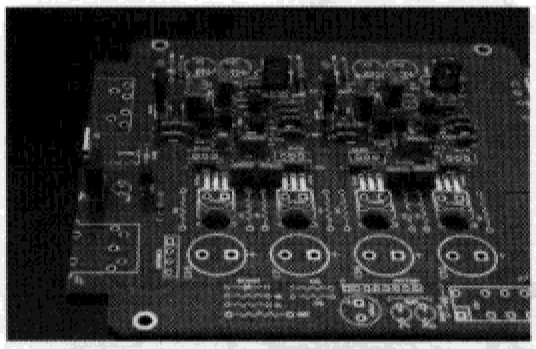
第三部分 套件安装

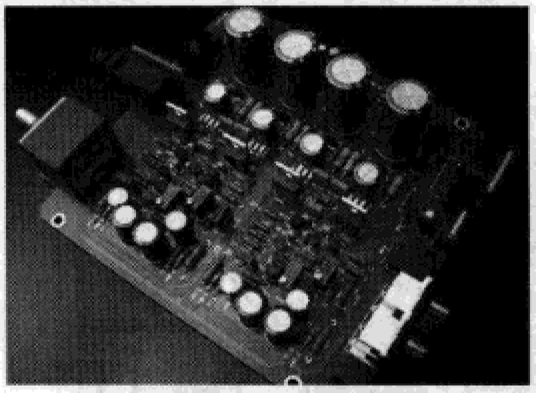
按照套件安装的一般原则，应该从小到大依次安装，首先将电阻整形后逐一插入PCB并焊接。



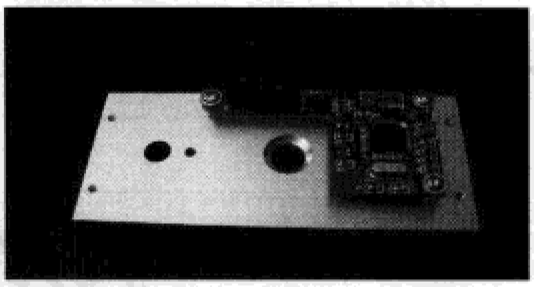


依次焊接晶体管、电容等。

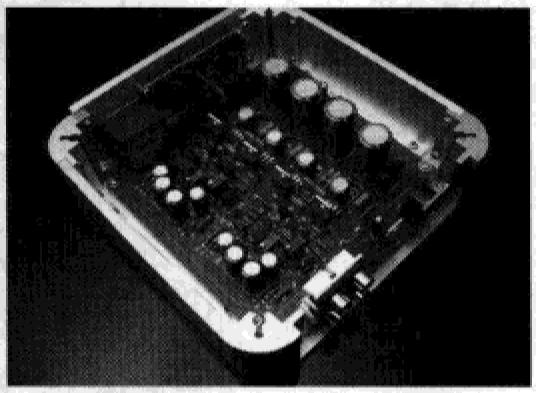




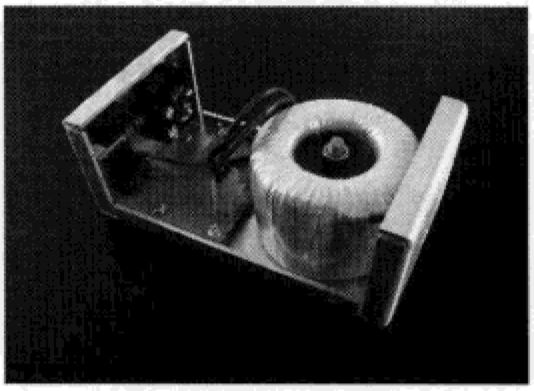
焊接完成之后，将机壳的前后面板拆除，并安装前面板的单片机控制板。



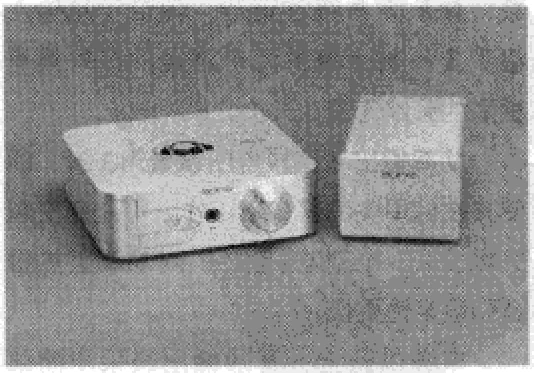
再来安装焊接好的PCB。



此时先不要合上主机的机壳盖板，现在需要组装分离的电源。



待安装好电源后，先通电检验确保无误，再连接PCB与控制板的排线，通电调试工作点。现在就可以合上盖板，享受音乐了。



套件销售

套件价格：980元+35元邮费

购买方式：1. 邮局汇款：北京市崇文区夕照寺街14号A座《无线电》杂志收，邮编：100061，请在汇款单附言中注明PANDA MK2耳放整机套件和汇款人电话。2. 淘宝店购买：http：//boqu.taobao.com/

超强高性能的小功率纯后级 LPUHP

◇梓门　编译

这是加拿大爱好者"Owen"(欧文)在DIYAudio(www.diyaudio.com)网站上发表的一个别出心裁的设计，用耳放IC来做小功率放大器，虽然不太符合"性价比"原则，但设计思路却是值得我们借鉴的，如果我们能从这款耳放IC的制造商那里申请到样片，对于业余爱好者来说这款放大器的成本并不算高。

制作初衷

LPUHP，是"Low Power Ultra High Perfromance"的缩写，即"低功率超高性能"的意思。

我之前做了些东西，剩下了一些PCB的边角料，不用也是浪费，于是就做了这么个小东西，听了几天后，结果有些意外，它竟然工作得很好。在此之前曾试着用"The Wire"（一款耳放的名称）的"BAL-BAL"（平衡输入-平衡放大）版本推一些灵敏度高到100dB/2.83V/1m的音箱并进行了测量，音量倒是够大了，但是音量开大了无法避免削波失真，当时就有了提高其电流输出能力的想法。

经过1年的努力，用LME49600直接并联做超高性能的小功率功放的想法终于试验成功了，如图1所示，每声道15W的功率输出能力，完全的单声道结构，包括电源变压器，全稳压的±18V电源，平衡或单端输入，加了散热器的输出级。焊装好的电路板的外形尺寸是63.5mm(宽)×173mm(长)×46mm(高)，此尺寸适用市售的很多种挤压工艺制成的铝质机箱。

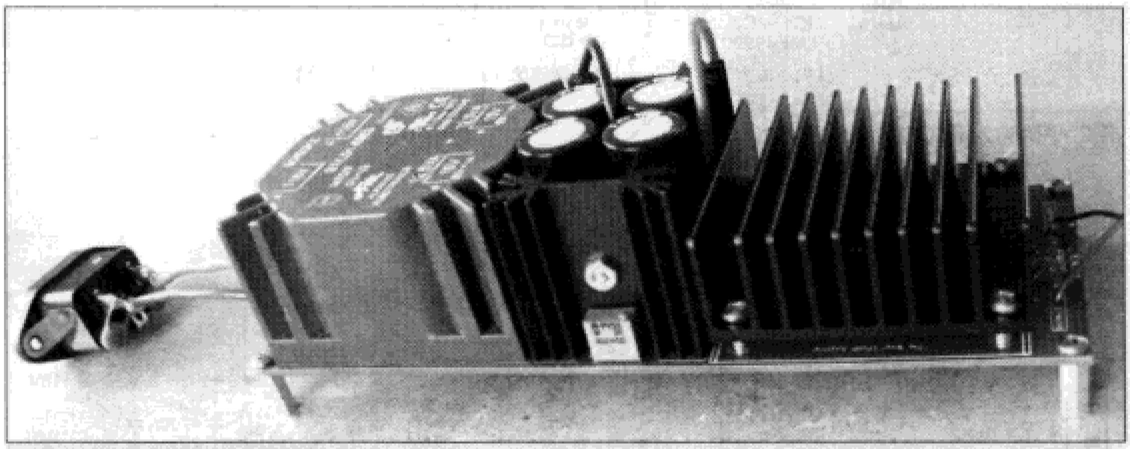


图1 小巧的高性能纯后级的照片

电路的形式

用8片LME49600直接并联，这样一来原本是用于驱动耳机的耳放，现在却可以来驱动音箱了。功放部分的电路原理图如图2所示，这个电路大约有1.42A的电流输出能力，输出电压摆幅大约±15V，RMS数值接近11V。如果是8Ω负载，功率输出能力能达到15~16W，而失真不会大于1%。这个电路有18dB的增益，输入信号约1.3V_{RMS}时就可以在8Ω负载条件下达到满功率输出状态。电路的增益也是比较容易进行调节的，同时改变R1和R2即可。需要注意的是，功放电路的电压增益与输入灵敏度是有密切关系的。不恰当的设定会使前后级的匹配失当。

同时，增益的高低也与本底噪声呈正比关联，增益越高，噪声越高，反之亦然。在与独立的DAC（即解码器）配合时，放大器的增益可能只是需要一个很低的值。因为功率输出的能力不高，能耗也就不大，为了提高静态指标，供电电路采用了稳压电源。

（译者认为可采用常见的LM317/LM337构成的稳压电路，如图3所示，这是220V市电供电形式的接法。整流电路采用了双桥式整流而不是全波整流，多用了1倍的整流二极管，压降更大，电源的内阻有所增加，但有利于交流—直流的隔离。C45~C48是EMI(Electro Magnetic Interference，电磁干扰)滤波电容，有利于减小整流二极管因为其非线性而带来的谐波干扰。VD40、VD41是保护LM317/337以免被反压击穿的，因为二者都要求在任何情况下，输入端的电压要高于输出端，否则就会损坏，但如果电源的负载不是纯阻性的，可能会有自感电动势存在。如果相应的吸收电路效能不好，就会叠加在电源电压上，相对于三端稳压器而言，输出端的电压就有可能高于输入端，造成三端稳压器的损坏。不但LM317/337，常见的固定输出的三端稳压器也存在这个问题，因此，在比较正式的设计中，这两个二极管是不会被省略的。）

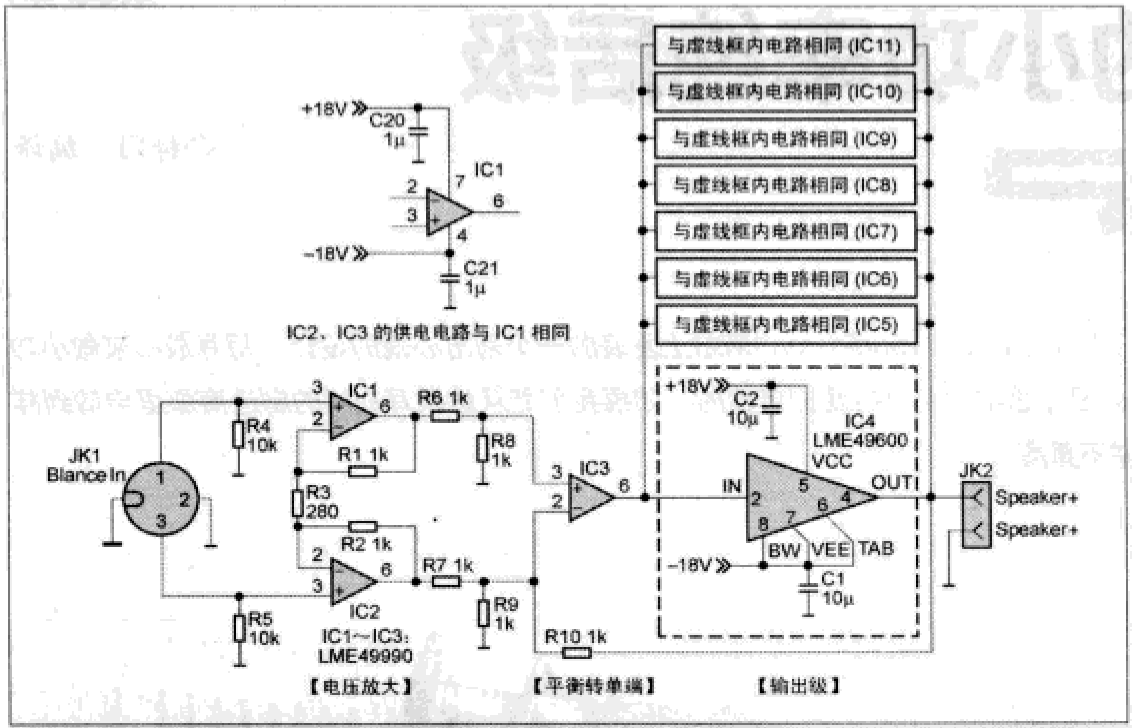


图2 平衡输入形式的电路原理图

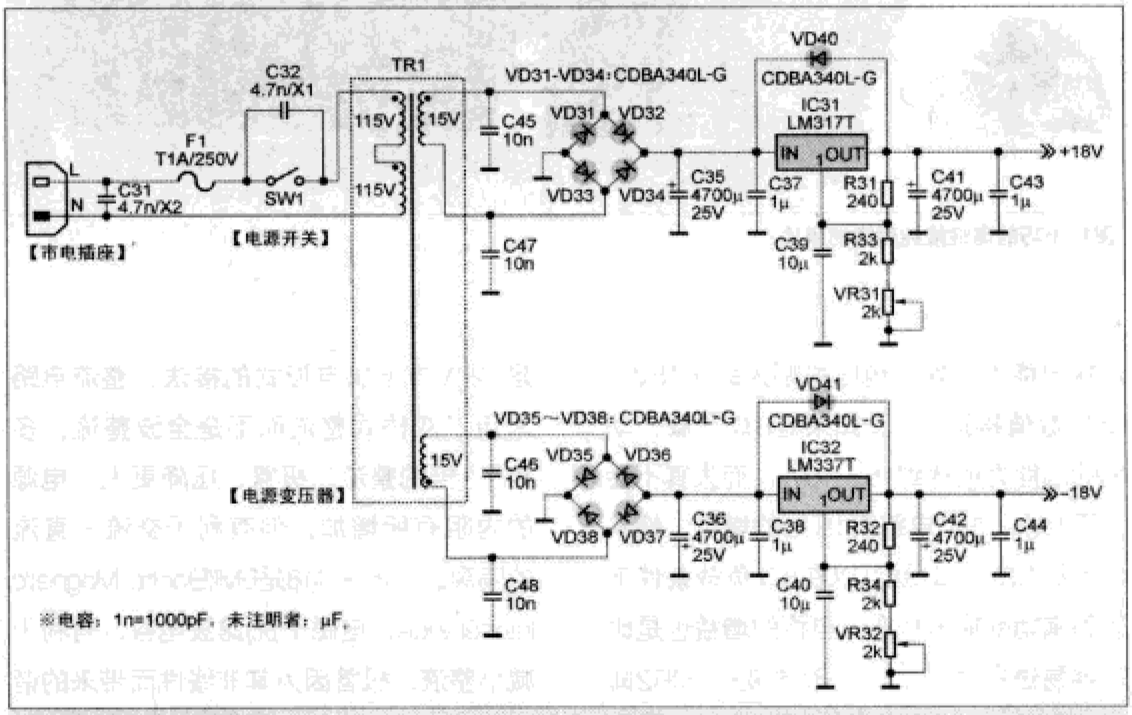


图3 电源电路的原理图

简单的电路也有不俗的性能

在全稳压电源供电和低输出功率条件下，失真指标非常理想。图4（a）、（b）分别给出了失真度*THD*与频率的对应关系曲线图和失真度与输出功率的对应关系曲线图。图4（a）中的曲线B之所以在10kHz以上迅速下行，是因为AP测试仪器的输入端接有高通滤波器，能够设置高通噪声滤除点（拐点）。因此，将拐点设置到10kHz时，高通滤波器已经将3阶谐波都滤除了，相应的谐波和失真测量输出自然就迅速下降了。基于此，10kHz以上的失真就会迅速降低，也可以理解为测量结果只是精确到10kHz，在此频域之上的指标就不那么理想了。其他曲线没有插入高通滤波器，因此失真的测量就可以认为精确到了20kHz。

用这款放大器推一对灵敏度为103dB/2.83V/1m的音箱，静态时，耳朵贴着扬声器的音盆也听不到任何声音，非常安静。

LME49600的标称输出阻抗并不等于由它构成的放大器的输出阻抗，因为是负反馈结构，实际的放大器输出阻抗是远小于1Ω的。

输出阻抗是用电压/电流的变化率来测量并计算的，即dV/dI。基本方法是先测量空载条件下的输出电压（预设值，幅度不能使放大器削波或者过载），然后接上负载，再次测量输出电压和输出电流，它们之间的差的比值就是电压/电流变化率。

如果测量的电压/电流的组数足够多，这种方法是非常精确的。但要注意的是，设定的输出电压值不能使放大器削波或者使其处于限流输出状态。实际的预设值是$8V_{RMS}$，负载为8Ω。另外需要说明的是，负载电流必须实际进行测量，最好除去测量仪表的内阻，以保证负载电流的精确，更不能用理论计算值。设V_o为空载电压，即预设电压，V_R为接上负载的输出电压，I_o为空载电流，I_R为负载电流，所有数值均为RMS值，实测结果如下：

V_o=8.004V，I_R=0A，

V_R=8.001V，I_R=0.9985V，

dV/dI=(8.004-8.001)/(0.9985-0)=0.003V/0.9985A = 3.00mΩ，这就是放大器的输出阻抗。

由此也不难计算出8Ω负载条件下的阻尼因数：8Ω/3.00mΩ≈2667。

上述测量在放大器的输出端进行的，负载也是近乎纯电阻特性的，没有考虑实际的音箱是感性负载，也没有考虑放大器与音箱之间的连线、端子等的阻抗。如果考虑到上述实际因素，输出阻抗会有所增加，但不会大于1Ω。

综上所述，可以将这款功放的技术指标总结如下：

◆ 电源电压：V_{CC}=±18V；

◆ 输出功率（V_{CC}=±18V）：16WRMS@8Ω，*THD*=10%；10WRMS@8Ω，*THD*=0.0003%；

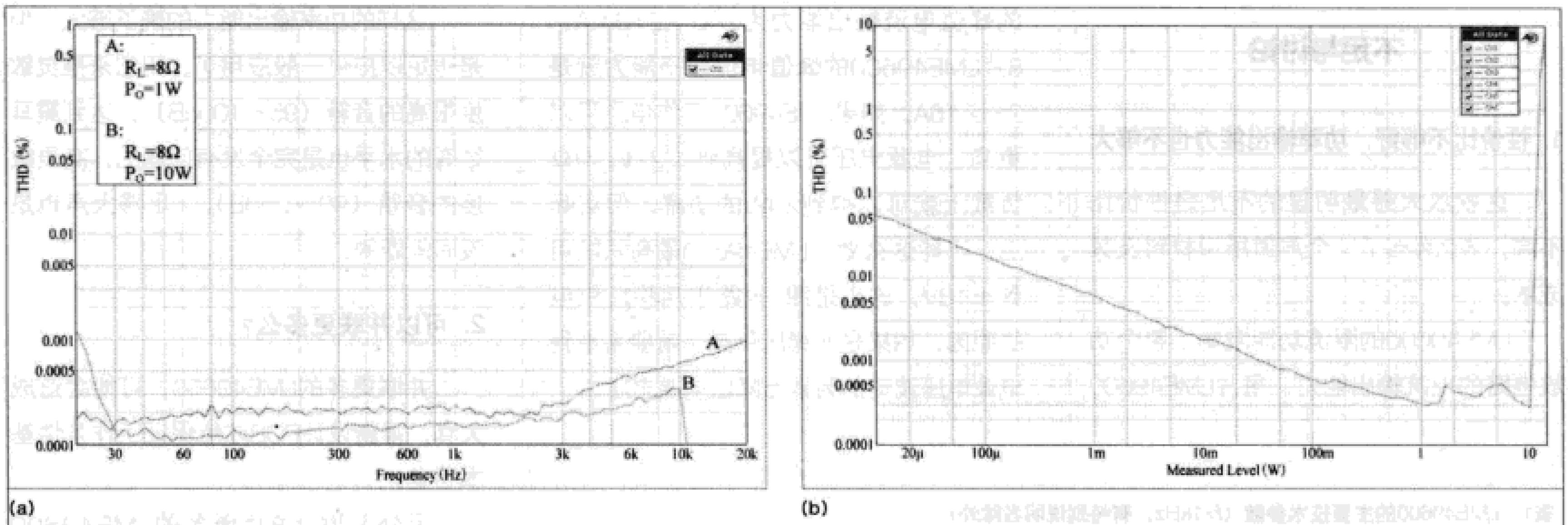


图4 失真度曲线图（根据原图修订）

◆ 谐波失真：*THD*＝0.0003%，*Po*＝1W，*f*＝1kHz，总体优于0.05%，

◆ 信噪比：*SNR*＝-106dB，*Po*＝1W，最高可达－125dB，

◆ 电源纹波抑制比：*PSRR*＝－130dB，最高为－147dB，

◆ 频响：20Hz～100kHz，未实际测量，取自LME49600，

◆ 输出阻抗：3.00mΩ，纯阻性负载，实际负载条件，不大于1Ω，

◆ 阻尼因数：2667，纯阻性负载。

LME49600是何方神圣?

LME49600的官方名称是“高性能大电流音频缓冲放大器”，是“功放”的电流输出级，这里的功放指的是耳放的“功放”电路，因为只有对于耳放而言，它的电流输出能力才算比较大，对于一般的功放而言，它的电流输出能力是很小的。

LME49600的增益带宽最高为180MHz，通过1脚（BW端子，参见图5），也可以将带宽配置为110MHz，除了减少带外噪声信号的干扰，还可以减少电流消耗，由14.5mA减少到8mA。

LME49600之所以有这么“炫”的性能（参见表1），主要是因为它只是一个电流缓冲放大器，电压增益小于1，如果加上常见功放电路那样的电压放大级和驱动电路，电路的综合性能指标就不会那么高了。从内部等效电路来看（图5），共射—共基推挽放大电路也是其性能高的保障，即输出级VT3和VT5、VT4和VT6组成了典型的共射—共基推挽放大电路，VT1和VT5、VT2和VT6组成复合管的形式，晶体管的实际极性由VT1和VT2决定。

图6中的*THD+N*—*Po*的典型曲线图是以典型的耳放电路为基础测量的，不难发现，输出功率超过0.3W以后，*THD+N*指标会急剧上升，到1W时，*THD+N*约为0.001%，这应该是8片并联的功率输出能力为10W@0.0003%的理论依据。基于LME49600的耳放，在32Ω耳机上可以获得500mW的功率，而*THD+N*的典型值为0.00003%，性能的确不俗，而电路却是非常简单的，这应该是LME49600在DIY圈的实际应用大都是耳放的内在原因吧。

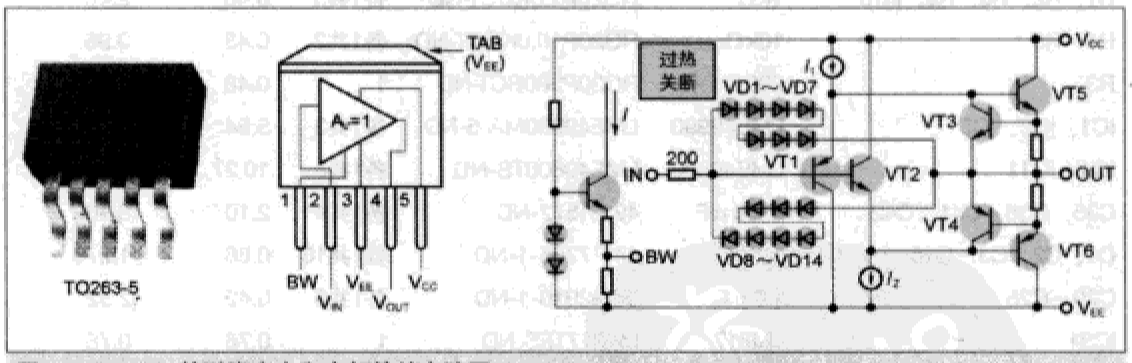


图5 LME49600的引脚定义和内部等效电路图

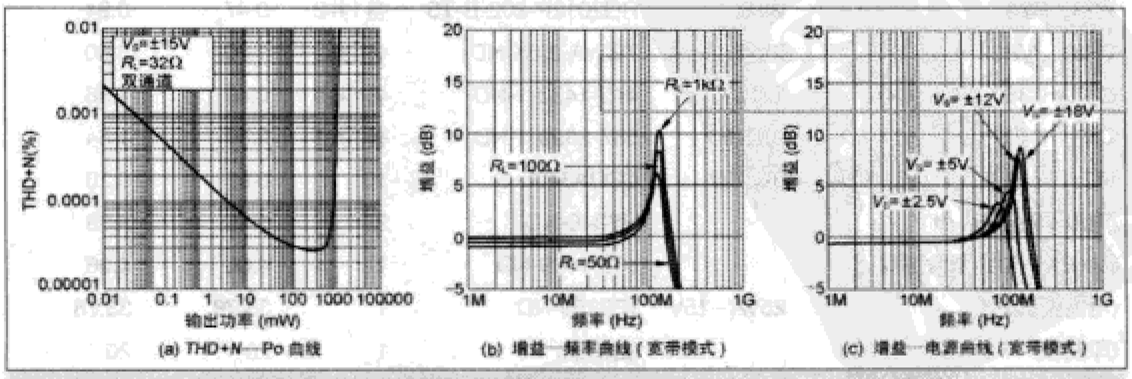


图6 LME49600的主要特性曲线图（基于耳放的输出级）

不足与讨论

1. 性价比不够好，功率输出能力也不够大

这款放大器最明显的不足是性价比不高。表2给出了一个声道所用材料及其成本。

LME49600的限流功能限制了整个功放电路的电流输出能力，每片LME49600的峰值电流输出能力为250～270mA，8片LME49600的峰值电流输出能力就是2～2.16A。如果LME49600工作电压可以更高，电源电压可以提高到±22V，9Ω负载上就可以得到20W的功率。但实际上，不能这么做，LME49600最高只能用到±18V，这也是图2电路采用稳压供电的原因，如果是非稳压供电，就要考虑到电源电压波动的因素而降低电源电压。

表1 LME49600的主要技术参数（f=1kHz，有特别说明者除外）

项目		典型值
VS (工作电压范围)		±2.25～±18V
$THD+N$ (V_{CC} = ±15 V)		0.00003% (V_{OUT} = 3VRMS，R_L = 32Ω)
I_O(输出电流)		±250mA (相当于500mA)
S_R(转换速率)		2000V/μs
BW(带宽)	1脚悬空	100MHz (R_L = 100Ω)
	1脚接VEE	160MHz (R_L = 100Ω)
I_Q(总静态电流，V_{CC} = ±15 V)		≤10.5mA (1脚悬空)
AV (电压增益)		0.95V/V (R_L = 100Ω)
ZIN (输入阻抗)		7.5MΩ (1脚悬空，R_L = 100Ω)
V_{OS} (输入失调电压)		±17mV
工作温度范围		−40～+85℃

表2 零件表(1个声道)

编号	规格	型号	数量	单价(美元)	小计(美元)
R1、R2、R8、R9、R10	1kΩ	RG20P1.0KBCT-ND	各1共5	0.48	2.40
R4、R5	10kΩ	RG20P10.0KBCT-ND	各1共2	0.48	0.96
R3	280Ω	RG20P280BCT-ND	1	0.48	0.48
IC1、IC2、IC3	LME49990	LME49990MA-5-ND	各1共3	5.54	16.62
IC4～IC11	LME49600	LME49600TS-ND	各1共8	10.27	82.16
C35、C36、C41、C42	4700μF	493-1572-ND	各1共4	2.10	8.40
C1、C2，C3～C16	10μF	445-7705-1-ND	各1共16	0.86	13.76
C20～C25	1.0μF	587-2910-1-ND	各1共6	0.42	2.52
IC31	LM317	LM317TFS-ND	1	0.76	0.76
IC32	LM337	LM337TFS-ND	1	0.76	0.76
R31、R32	240Ω	RG20P240BCT-ND	各1共2	0.47	0.94
R33、R34	2kΩ	RG2012P-202-B-T5	各1共2	0.47	0.94
VR31、VR32	2kΩ	T93YA-2.0K-ND	各1共2	1.80	3.60
C37、C38、C43、C44	1.0μF	445-1430-1-ND	各1共4	0.49	1.96
C39、C40	10μF	587-2599-1-ND	各1共2	0.77	1.54
VD31～VD38，VD40、VD41	3A/40V	CDBA340L-G	10	0.92	9.20
(电源IC散热器)		HS346-ND	2	1.19	2.38
(LME49600共用散热器)		102-1489-ND	1	4.06	4.06
(电源变压器)	25VA - 15V	TE2259-ND	1	33.78	33.78
(印制板)		(自制品)	1	20	20
总计					207.22

这样的功率输出能力的确不够大，但是也足以应付一般应用了。用它来推灵敏度很高的音箱（95～100dB），达到震耳欲聋的水平也是完全没有问题的。高灵敏度的音箱（90～95dB），足够大声也是没有问题的。

2. 可以并联更多么？

并联更多的LME49600，可能会造成失真。重新设计PCB才能保证工作条件基本不变。

另外并联比8片更多的LME49600并不能使8Ω负载条件下的功率输出能力有任何提高，除非提高电源电压。但LME49600的工作电压只能这么高。

3. 为何不桥接以提高功率输出能力？

想要得到更大的输出功率能力而电路形式不发生大的变化，可以用桥接(BTL)的方法，但成本会大幅增加。这是因为需要大幅增加LME49600的并联数量，而不能在现有基础上改成BTL形式。原因是桥接只能提高输出电压摆幅，电流输出能力却没有增加，这样一来，电流输出能力就会不足。因此就需要40片LME49600同时满足电流和电压的要求，这样一来，一个声道的输出级，成本就需要400美元左右。

4. 能驱动更低阻抗的负载么？

如今很多音箱并不是8Ω阻抗的，6Ω的很常见，在多媒体音箱中，尤其是重低音音箱，4Ω乃至2Ω阻抗的音箱也是有的。可以驱动4Ω负载，但是只能将功率限制到原设计能力的一半，即8W左右，否则失真会急剧增加。功率限制功能已经集成到LME49600中了，所以，这个问题的实质是，用低阻抗的音箱虽然从理论上似乎是可以提高功率输出能力，但实际上却不能，为了保证失真度指标明显下降，功率输出能力反而更低。

5. 电源变压器的规格

电源变压器的次级电压应该是15V

的，实际测试之后，18V的变压器也许更好。尽管整流二极管的正向压降也比较低，只有0.32V@2A，在满功率条件下，电压的确是跌落到了18V以下。

这是因为LM317/337的输入/输出端需要至少3V的压差才能保证稳压效果，考虑到10%的裕量，需要17.5V才合理，电容的电压规格仍然可以是25V的。基于上述观点，次级电压至少16.5V的电源变压器才更为合适。

使用不固定在印制板上的，功率比15VA更大的电源变压器能够保证在满功率输出条件下不致于让电源电压下跌得太多。总之，25VA、15V的变压器更好一些，设计初级电压是115VAC。

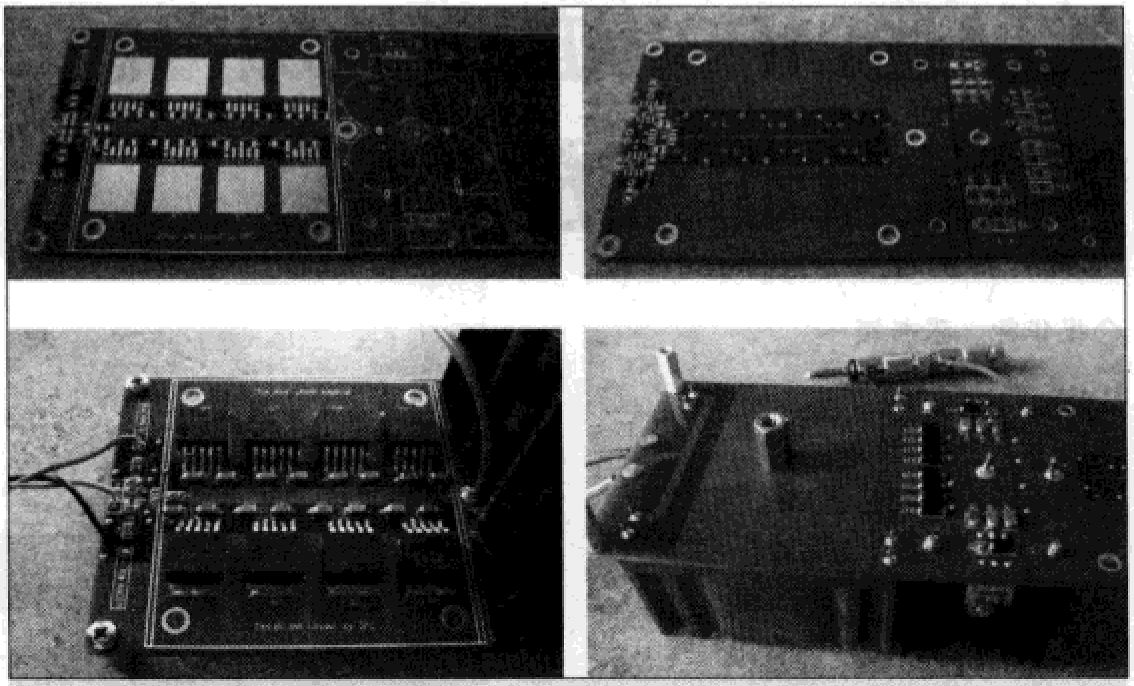


图7 PCB与焊装过程中的放大器照片

6. 散热器的作用

LME49600所用的TO-263封装的塑料部分的热阻是非常高的，在上部加装散热器的作用也是比较小的。TO-263封装的金属散热片和铜箔之间是焊锡，它们之间的热阻也非常小。

理想的设计是应该在TO-263封装的散热片和散热器之间加装金属垫片，使热量能够直接从散热片到散热器散发到空气中。

不过，这太理想化了，除非我们是想长期让它们在满功率输出的条件下工作。实践证明，一般比较凉爽的天气(15℃)，中等输出功率条件下，没有散热器，它们也是可以工作得很好的。

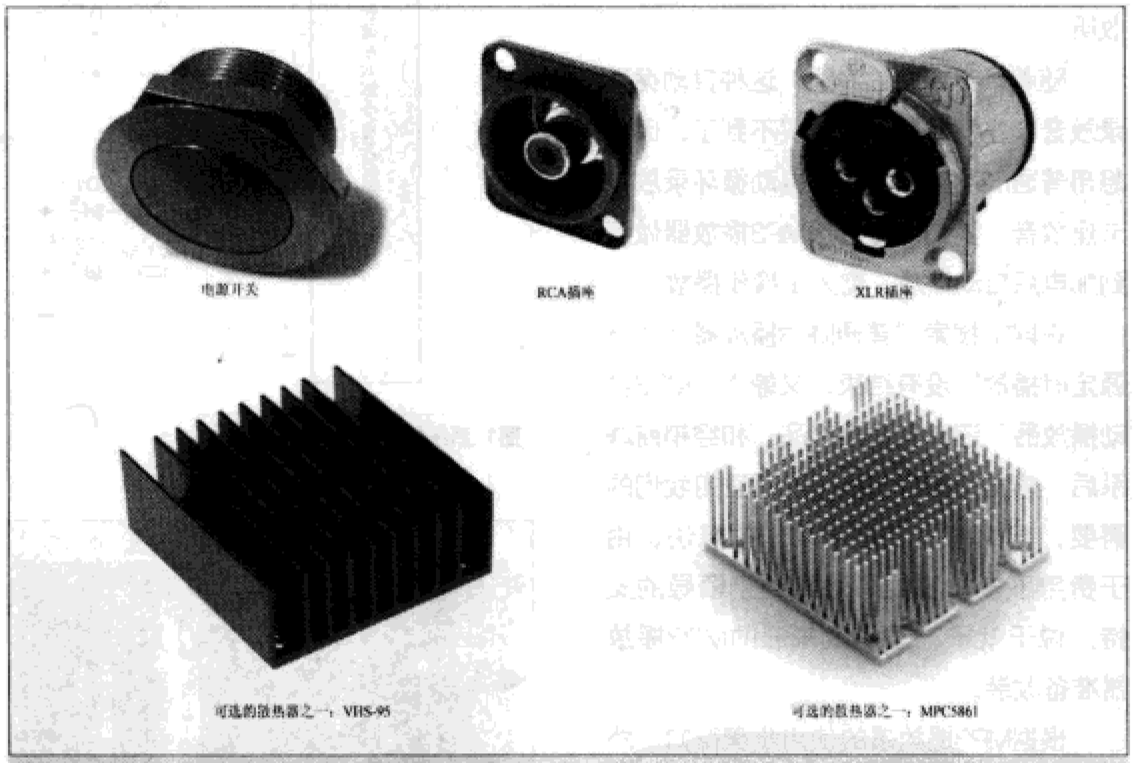


图8 推荐的散热器和箱体附件照片

装配与成品

在印制板上装配表2所列零件需要注意以下的问题。

可调三端稳压器的散热片与散热器必须绝缘，因为散热器的焊接引脚在PCB上是接地的。

无论如何，都应该先焊装电源部分，而不是按照元器件的高低顺序从低到高焊装。这是因为电源需要先调试好，调节可调电阻VR31/VR32，使输出电压刚好是18VDC。

LME49600的散热片与焊盘焊接时，最好使散热片的底部与焊盘之间填满焊锡，这可能需要功率大一点的电烙铁，50W的应该是够用了，或者两把35W的同时从两侧焊接也是可以的。这样做的好处是，即便没有散热器，在一般应用时，也是可以很好地工作的。

8片LME49600共用的散热器很容易在市场上找到，PC主板芯片组上的散热器大多是可以用的，如图8所示。散热器与IC之间的固定是通过导热双面胶片粘接在一起的。更廉价的方法是利用自己手中废旧PC主板上的散热器，如果手中没有，在PC市场上的维修店也不难买到坏的主板，除了散热器可以利用，电容和二极管也是可以利用的。

机箱附件最好选用螺丝固定的，这样只要一把手枪钻就可以完成机箱上的所有开孔，当然，大的开孔需要专门的钻头。

给普通MP3播放器外加电源实现自动播放

◇崔华卿 张新颖

用单片机控制普通MP3播放器实现自动播放

我校为了配合外语教学，提高学生外语听说能力，每天早、晚用4个频率、4台自动循环录放音卡座，通过发射机循环播放4种外语录音磁带，学生使用接收机收听。

随着录音磁带的淘汰，这种自动循环录放音卡座损坏后在市场买不到了，因此想用普通MP3播放器代替自动循环录放音卡座放音，我们知道普通MP3播放器做不到加电后自动播放，需人工操作播放。

在网上搜索“普通MP3播放器外加电源定时播放”没有结果，又输入“MP3自动播放器”还真有这类产品，和经销商联系后，感觉价格有些贵，也不适用我们的需要，因此萌发了自己制作的想法。由于费用不多，我的想法得到了领导的支持。说干就干，于是找来旧的MP3播放器准备改装。

根据MP3播放器的使用步骤得知，外加电源后，需手动按开机键2s，间隔12s再按模式键，再按播放键即可播放。

掌握MP3播放器开机步骤后，选用MCS-51系列单片机编程后加驱动电路驱动继电器，用继电器触点模拟人工操作，实现外加电源后自动播放。用市场可以买到的TIANBO HJR-4102-L-05V的继电器，电源用5V/300mA手机充电器板直接给单片机供电，经LM317稳压到1.5V后给MP3供电。整个系统的电路连接如图1所示。

改造步骤：把MP3外壳打开，仔细把MP3电池正、负极两端焊点、开机键两端

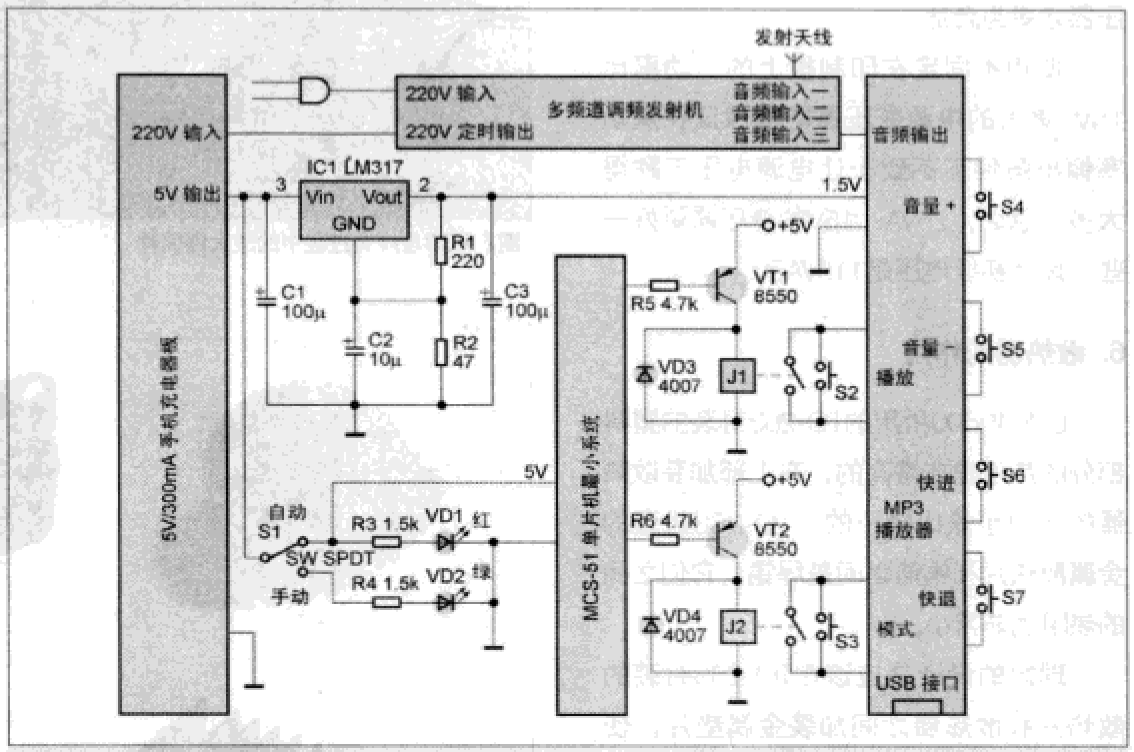


图1 系统连接图

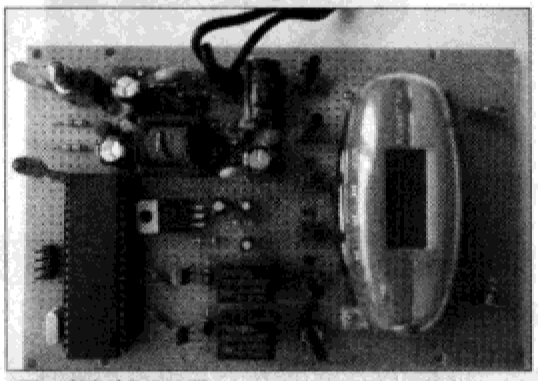


图2 整机板正面图

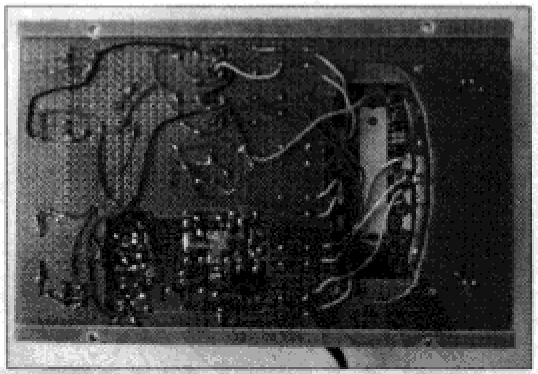


图3 整机板背面接线图

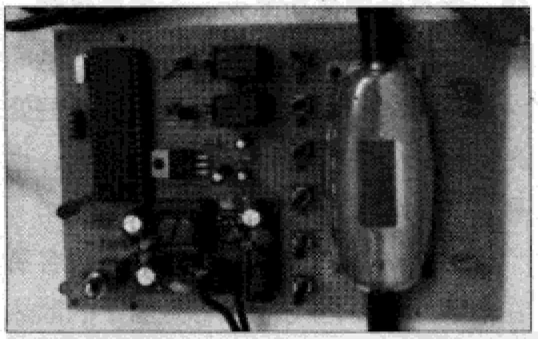


图4 整机板测试

图5 粘贴一块环氧树脂板

控制程序如下:

```
;MP3自动播放控制器
;P0.3 = MODE
;P2.7 = PLAY
;fosc = 6MHz
sfr n_0d1 = 70H;0.1s 倒计时单元
sfr n_s = 71H;秒倒计时
sfr n_m = 72H;分倒计时
sfr n_h=73H;时倒计时
sbit f_s=20H.0
;-------------------------------------
ORG 0000H
JMP M_START
ORG 000BH
JMP T0_INT
M_START:
MOV TMOD,#01H;T0定时方式1
MOV TH0,#(65536-50000)/256;100ms@6MHz
MOV TL0,#(65536-50000)MOD 256;100ms@6MHz
SETB TR0;启动T1
SETB ET0
SETB EA
;-------------------------------------
MOV  n_0d1, #10
CLR  f_s
MOV  R7, #12;开机启动时间12秒
M_LOOP:
JNB  f_s, $
CLR  f_s
MOV  n_0d1, #10
DJNZ R7, M_LOOP
;-------------------------------------
CLR  P0.3;接通MODE 继电器
CALL DL100MS;延时
SETB P0.3;断开MODE 继电器
;-------------------------------------
MOV  n_0d1, #10
CLR  f_s
MOV  R7, #3;MODE_PLAY, 间隔3秒
M_L2:
JNB  f_s, $
CLR  f_s
MOV  n_0d1, #10
DJNZ R7, M_L2
;-------------------------------------
CLR  P2.7;接通PLAY 继电器
CALL DL100MS;延时
SETB P2.7;断开PLAY 继电器
;-------------------------------------
SJMP $;控制结束
;-------------------------------------
T0_INT:;T0中断服务程序
MOV TL0,#(65536-50000)MOD 256;100ms@6MHz
MOV TH0,#(65536-50000)/256;100ms@6MHz
DJNZ n_0d1, T0_END
SETB f_s
T0_END:
RETI
;-------------------------------------
DL100MS:
MOV  R5, #2
DL2:  MOV  R6, #100
DL3:  MOV  R7, #249
DJNZ R7, $
DJNZ R6, DL3
DJNZ R5, DL2
RET
;=====================================
END
```

焊点、模式选择键两端焊点连线引出供自动播放时用，音量加、减键两端焊点，快进、快退键两端焊点用连线引出，供手动播放时选择文件及控制音量时用。录音键不使用，不需要引线。

按照图1给出的连接电路图，用155mm×100mm实验用的电路板做整机的底板。为了降低整机的高度，在整机板上手机充电器板的位置，根据手机充电器板的尺寸大小开一个孔，使手机充电器板刚好放进去，并用导线固定好手机充电器板。为了连线方便，把固定MP3的位置按MP3尺寸大小也开了一个孔，并在MP3壳上两边各粘上一小条环氧树脂板，在板上打上固定孔，用录音磁带盒上的小螺钉固定好MP3。把其他元件都插到整机板上，如图2、图3、图4所示的连接。用两条2mm厚、5mm宽的环氧树脂板粘在整机板的长边上，裁一块和整机板大小一样的1mm厚的环氧树脂板，把整机的背面盖上，用录音磁带盒上的小螺钉固定好。这样做既绝缘又美观。

找一个合适的铁盒给整机做一个盒罩，在盒罩上面钻好固定孔及手动控制按键孔，手动、自动指示灯及手动、自动选择开关按键孔，还有220V电源引线孔。因为盒罩是用铁皮做的，必须做绝缘处理，把靠手机充电器板盒罩的侧面粘一块1mm厚的环氧树脂板，见图5。在盒罩里面顶面用双面胶粘一层涤纶片，在220V电源线开口处开一个比盒罩小一点的孔，220V电源线由此引出。图6所示的是加上盒罩的情况。

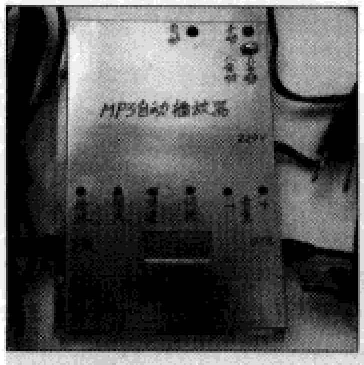


图6 加上盒罩

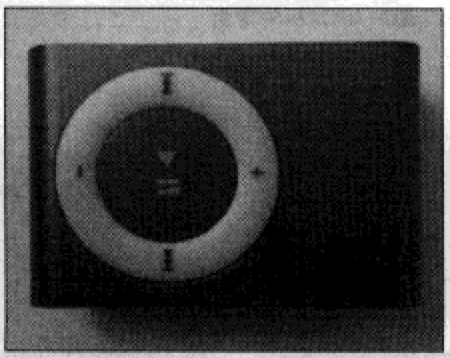


图7 SD卡MP3播放器

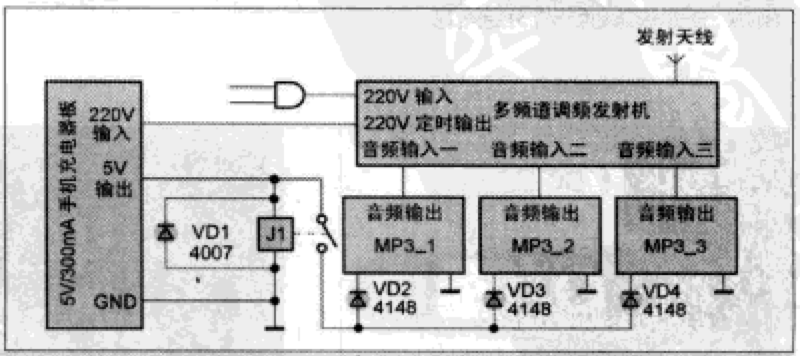


图8 三频道发射机的系统连接图

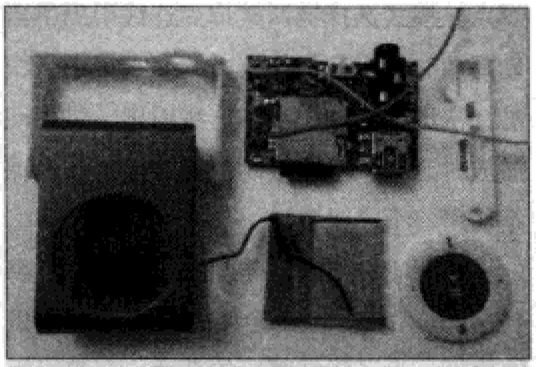


图9 为MP3引出外接电源线

使用方法：用电脑通过数据线把要播放的文件存入MP3，把MP3自动播放器与发射机连接，再在发射机上设定自动播放的时间即可。到了预定时间，发射机给自动播放器加电，自动播放器中的单片机即按照设定的程序，自动控制继电器，使MP3开始播放。

MP3自动播放器

完成上述制作并在实际当中得到应用后，笔者在市场上看到还有一种没有屏幕显示的SD卡MP3播放器，外形如图7所示。这种MP3播放器操作非常简单，只需接通电源就可以自动播放。用它也可代替自动循环录放音卡座实现自动播放。

MP3播放器充足电时，测得电池两端的电压为5V，因此仍然采用5V/300mA的手机充电器板做外接电源。每台MP3接电源端用一只1N4148做隔离，每台MP3的功耗在20mA左右，5V继电器吸合电流在35mA左右，因此使用300mA的手机充电器绰绰有余。为此设计的三频道发射机系统连接图，如图8所示。

这种MP3播放器的其他功能在此不作叙述，这里只介绍用此MP3播放器代替自动循环录放音卡座实现自动播放的制作过程。因为机器比较小，制作时要细心，将MP3一边的小螺钉拆下，取出机芯，把MP3内置电池焊下来，并在电池“正负”焊点两端引出两种颜色的细塑包线，以便联机时区分正、负极，如图9所示。

把MP3领夹开口处用剪刀剪掉一块，在靠近领夹边缘处钻一个Φ1.5～2mm的孔，把孔的毛刺清理干净，用于引出电源线。在领夹上打两个Φ2.8mm的孔，用于安装M2.5的固定螺钉。再把机芯装回机壳，因为内置电池不用了，机芯装回机壳有一些松，要适当加一点填充物，如厚度合适的纸壳等。

把3台改造好的SD卡MP3播放器固定在195mm×48mm×2mm的环氧树脂板上。因为手机充电器板的尺寸稍微高了一些，为此在环氧树脂板上开一个和充电器电源板大小一样的孔，使充电器板刚好放进去。在板的背面边缘各粘一条2mm厚，比去掉充电器孔到边上稍宽一点尺寸的环氧树脂板条，使手机充电器板的边放进去后刚好搭在上面，并加以固定。打好继电器、二极管的安装孔，按图8焊好接线，3台MP3共用一个外接电源，见图10，其固定板背面如图11所示。

因为手机充电器板部分带有220V的交流电，为此用八宝粥的铁盒做一个盒罩，把手机充电器板和继电器罩在里面。因为用的是铁皮，必须做绝缘处理，笔者是用1mm的环氧树脂板裁成相应的尺寸，用胶粘在3个侧面上，顶面用双面胶粘一层涤纶片，见图12。

在整机固定板的背面，用1mm厚环氧树脂板，裁成和固定板一样的尺寸覆盖，用录音磁带盒上的小螺钉固定，见图13，固定板的正面如图14所示。这样做既绝缘又美观。

这3个MP3播放器共用了一个5V手机充电器为电源，每个MP3本身的电源开关仍然有效，可以单独关闭某个MP3。同样，原机的功能键也都有效，可以实现手动播放。

SD卡中的文件，可以通过MP3的USB数据线下载，也可以用读卡器写入SD卡。

使用方法：把每路MP3播放器都插上SD卡，在发射机上设定自动播放的时间，当到了预定时间，发射机给自动播放器加电，3个MP3即开始播放内容。

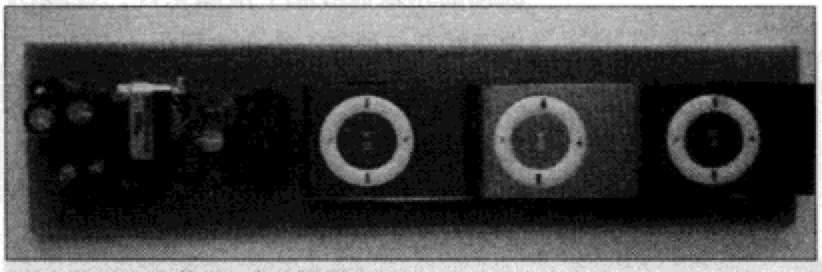


图10 三台MP3共用一个外接电源

图11 固定板的背面

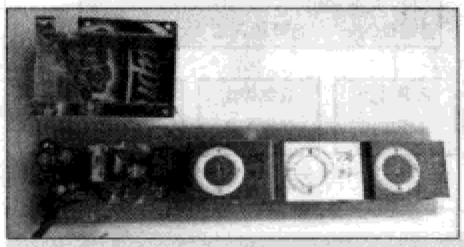


图12 MP3固定板与盒罩

图13 固定板背面覆盖上环氧树脂板

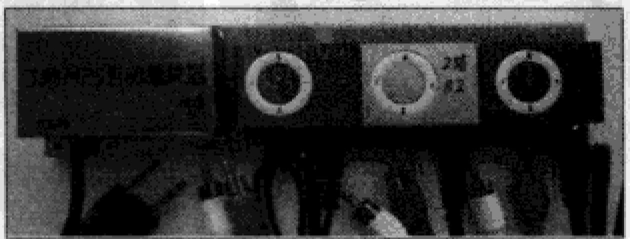
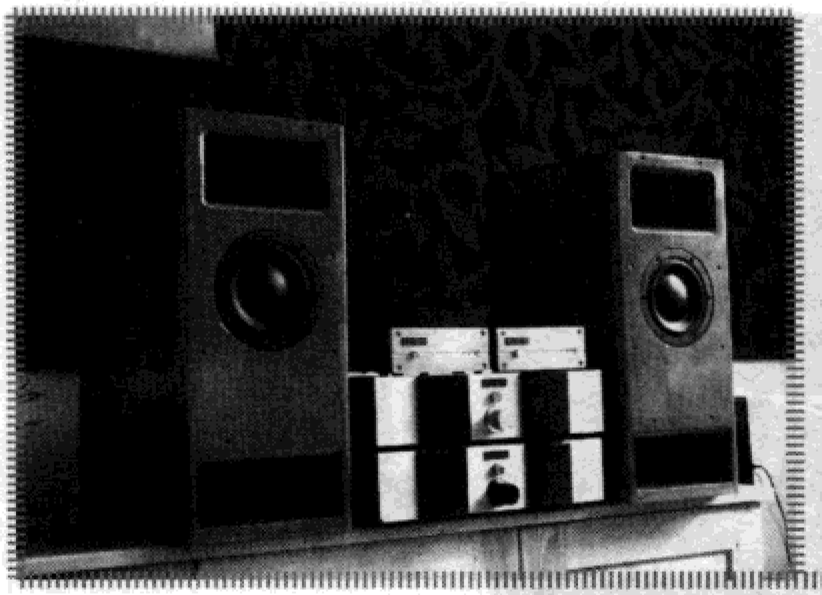


图14 固定板正面图



◇罗坤林

罗曼士（Romens）5英寸混合式两分频静电书架音箱的制作

箱体设计制作

本音箱是由自制的3英寸×7英寸方形静电高音扬声器单元加上5英寸惠威D5低音扬声器构成，箱体设计为两分频高低音单元整体结构。

由于静电高音扬声器前后均有发声，故高音单元的箱体后部设计为直通形式，让静电高音背后的声波经墙体反射到听音区。这种360°的传音方式，在音场包围感和空间感上明显优于传统音箱。

低音部分则设计为背负号角式，如图1所示，由一个约2.2L（除去内置的升压变压器、高压静电发生器和分频电路板所占体积）的小型低音共鸣腔体加上总长1.35m的抛物线号角通道组成。腔体内的空气质量少，能让低音单元获得更快的瞬态、更多的中频密度，并且没有箱声，而单元后部的声波经过号角通道的延伸，能达到低于50Hz的低频下限，小箱体大动态，完全可以进行普通交响乐的诠释。

背负号角式箱体结构复杂，传统的手工方式无法生产。本音箱全部的板材都是经电脑CNC雕刻，再组合拼装而成，如图2所示，使产品工艺有很好的一致性，非常适合标准化量产。在保证其良好谐振性的条件下，箱体的面板、侧板、顶板均采用高档橡木板，并可喷涂各种有色漆，使音箱的外观、档次、品位进一步提高。

音箱基本参数

- 频率响应：50Hz～22kHz
- 灵敏度：83dB/1W/1m（4m测量）
- 阻抗：一般8Ω
- 变动阻抗：4～20Ω
- 音乐功率：50/120W
- 输入电源：DC12V，200mA
- 分频点频率：1800Hz
- 箱体尺寸：520mm（高）×300mm（厚）×240mm（宽）
- 音箱重量：约30kg/对

自制静电高音扬声器简介

静电高音扬声器是由前后开孔的两片导电信号极板，加上中间一张绷紧的0.0005mm厚的聚苯乙烯加涂层振膜和高强度碳纤维塑料混合材料的支撑框架组成。先由充电电路，让振膜上充满静电荷，再将高压音频信号加在信号极板上产生交变的电场，振膜上的静电荷在交变电场中受电场力推动，使得振膜随着音频信号前后振动，驱动空气而发声。由于超薄的振膜质量仅为传统球顶高音振膜的1/50甚至更轻，并且全体振膜平面受同相位力驱动，几乎没有惰性失真、能量残留、分割振动，又是推挽结构，很容易做到小于0.5%的失真。这些先天优势使其具有传统球顶高音扬声器无可比拟的瞬态响应、透明度和解析力。

所以在听感上，静电音箱的高频不像传统音箱那样很容易分辨出高频的左右两个发音点，初听者往往不习惯，等几首乐器听下来，才能感受到静电音箱的高中低频随着整个音场扑面而来，基本感觉不到音箱的摆放位置。静电扬声器的声衰减系数很小，对听音区的“皇帝位”要求不是非常挑剔（全频静电音箱更为明显）。

由于静电扬声器都有一个最大输入电压限制，一般都高达3000V甚至更高。当电压增加到一定程度，信号极板与振膜之间就会产生放电现象甚至导致振膜被击穿，容易损伤单元。故在参考国外一些类似静电单元相同承受功率的基础上，经过多次试验，我们将单元的极板与振膜间距设计减小了1/3，从而得到效率更高、失真更小、反应速度更快也更容易驱动的静电高音扬声器。

目前市场上的国外品牌静电音箱大都采用110～220V交流供电，存在一定的安全隐患。本音箱采用了安全的12V直流供电，其消耗功率不足2W。经振荡、放

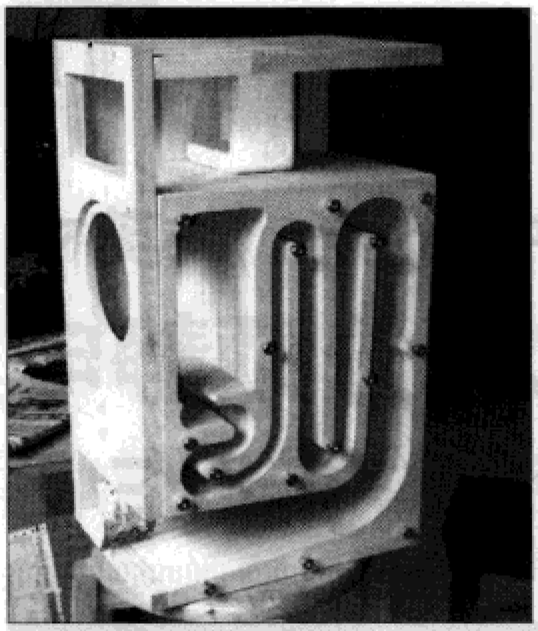


图1 音箱内部采用背负号角式

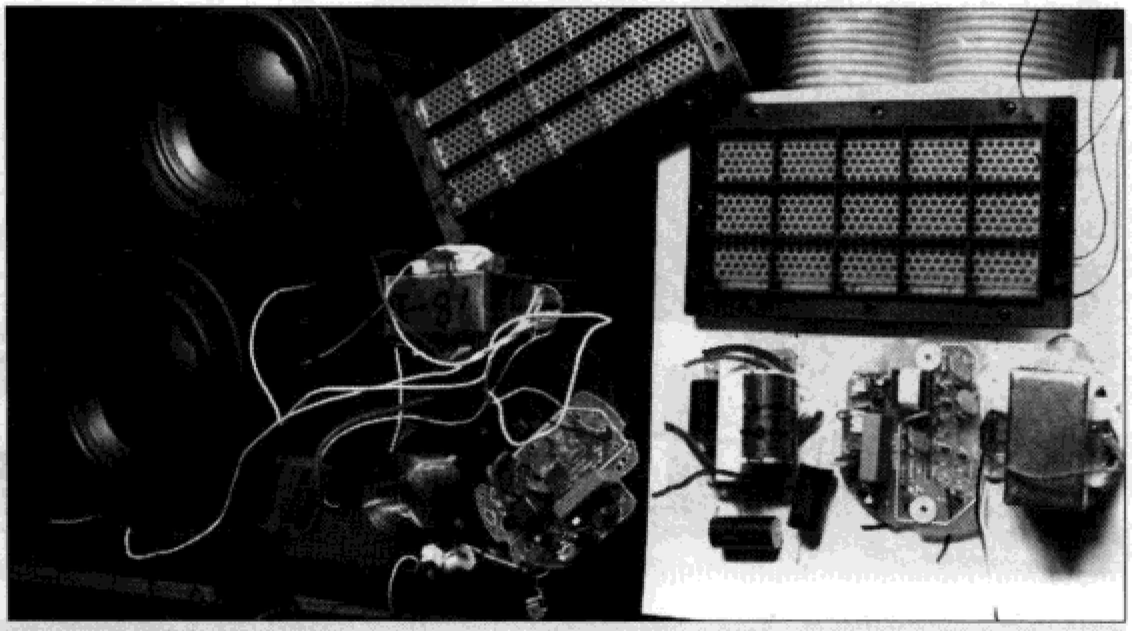


图3 音箱采用惠威D5低音扬声器

大、升压电路，配合高效设计的静电高音单元，完全满足对振膜能量补充的需求，这就从源头上确保了音箱的使用安全。

早期静电单元的振膜寿命不高，受使用环境的温湿度影响大，一般使用5年就需要更换。要根本上解决这个问题，必须在单元的两个极板、振膜上，喷涂温度、湿度阻隔层和绝缘阻断层，进行表面防护处理，使得其受环境影响更小，从而更加耐用。我们第一代开发的静电单元样品，已经正常工作6年仍完好如初。另外，根据南北方地区气候的差异，我们把静电单元的高压配置分为两种：较低的极板电压配较高的静电电压，以解决南方地区空气湿度大的问题。反之，高极板电压配中等电压的静电发生器则能适应北方干燥的气候。这样就解决了音箱在不同地区的使用问题。

图2 箱体由电脑CNC雕刻、拼装而成

低音扬声器的选配

由于静电高音扬声器的瞬态极高，市场上很难找到与其匹配的低音单元，只有进口的丹拿、魔雷等有部分5英寸左右的小口径单元能达到指标。鉴于成本的考虑，在国内的扬声器市场上，我们选择了惠威D5低音扬声器，如图3所示。该单元灵敏度为83dB，与静电高音单元相同，75mm特大音圈，将振动能量快速均匀地传播到振膜上，配合窄橡皮边悬挂的短冲程，其瞬态反映接近静电单元。加上适当的分频网络、配合特别的箱体结构，使音箱整体的表现比较平衡，基本没有低音滞后的现象。

音箱整体听感

本音箱音质真实自然、纯正准确，没有多余的声染，没有所谓的个性。速度反应快，微弱细节多，音场宽广、深远，舞台结像感很好。特别是现场的还原能力和重播乐器的真实质感，是使用球顶高音扬声器的传统音箱少有的。

重播蔡琴各个年龄段录制的歌曲，嗓音很容易区分出来。纤细的高频丝丝入扣，毫无毛刺感，非常耐听。醇厚圆润的中频，密度饱满，演唱者的感情清晰易见。低音单元在背负号角箱体中表现也非常强劲，低频的动态和下潜深度远远超出传统的5英寸倒相式书架音箱。

罗曼士（Romens）5英寸混合型静电音箱利用了静电扬声器的优势，达到了声音真实、平衡、纯净、无染的忠实还原——这就是Hi-Fi的真谛。

小结

到目前为止，静电扬声器已经60岁了，其工作原理并不复杂，由于制作难度和驱动难度都比较大，市场上国外品牌又都是天价，一直很难普及。如何做高静电扬声器的灵敏度也是个世界难题，虽然普通50W的功放就能推响，但很难推好，需要100W以上高瞬态大电流、无大环路反馈电路的放大器或者大功率的胆机来推动，可以说静电音箱是玩功放的音箱。这也是前几年国内上过一些静电扬声器项目胎死腹中的原因之一。

从静电扬声器的先天优势来看，静电音箱比起传统音箱的优越性是非常明显的。相信在数码科技日新月异的发展下，将打破天价进口品牌的垄断，国产的混合型静电音箱和全频静电音箱以及高瞬态大电流无反馈电路功放，会逐步走进普通爱乐者之家。

◇胡乃群

威廉逊放大器自制详解

经过长时间的研究、应用，人们发现，以半导体器件制作的音频功率放大器，虽然可以达到相当高的物理指标，但要做出像电子管机器那样温暖圆润而且久听不厌的音色来，却十分不易。但电子管功放作为比较高档的家用听音设备，由于普及程度很低，多数人不了解，出于普及推广或商业宣传等种种原因，在某些音响刊物上或音响爱好者中间，存在一些似是而非、缺少科学依据的说法。

|说法一| 电子管功放可以放出数倍其标称功率的音量。

在电子管扩音时期，一台50W的电子管单声道扩音机可以满足很大范围（如厂矿、生活区域）的宣传广播，一台30W的电影还声机可以满足数百人在露天场所看电影的需要。这相当于现在数百瓦的半导体扩音机的放音效果。由于好一点的半导体功放机，动辄将100～200W甚至更大的输出功率作为宣传要点，可能是为推介电子管机器，于是就有了一台几十瓦的“胆机”顶一台上百瓦“石机”的说法，认为电子管机的实际输出能力等同于数倍晶体管扩音机的功率，有些刊物也刊登过类似观点的文章。过去一台电子管扩音机能够服务一大片区域人群的主要原因，是电声转换器件的高效率，即高灵敏度扬声器起的决定性作用（与定压或定阻输出方

威廉逊放大器背景简介

1947年英国工程师威廉逊在英国《无线电世界》杂志发表了一篇题为《高质量放大器设计》的文章，解决了用束射功率电子管（也称电子注管）制作的音频功率放大器频响较窄、失真较大、保真度不高的问题。具有划时代意义的“威廉逊放大器”问世后，电子管音频功率放大器进入了高保真时代。

威廉逊功率放大器的主要特点：一是将末级电子注管的帘栅极与屏极相连接，将束射四极管、五极管改为“三极管接法”，形成功放管内部深度负反馈，成为低内阻、低放大倍数、线性好、保真度高的“类三极管”（整流电路除外，威廉逊电路全部使用三极管，充分发挥了三极管线性好、保真度高的优势），其次是前后各级全部采用阴极电阻自给偏压电路，且不使用旁路电容，形成每级的交、直流负反馈，加上大环路负反馈，提高了电路的稳定性，拓展了频响，提高了保真度，三是针对电子注管改三极管接法效率降低问题，用三极管屏阴分割电路倒相后，加一级推动级，增大输出电压，且合成波形好，失真度低，极少出现上下波形不对称现象，基本不用调试，功率级采用高效率的推挽放大电路，提高输出功率。

“威廉逊放大器”问世数年后，为解决电子注管改成三极管接法后输出功率降低较大的问题，1951年美国人研制出了超线性功放电路（Ultra Linear）。超线性电路是将威廉逊电路的“三极管接法”，改为将帘栅极接入音频输出变压器一次侧线圈的特定抽头部位，由三极管接法的内部深度完全负反馈，改为通过输出变压器回路形成的适度深度负反馈。为此，超线性推挽输出变压器一次侧较以往的音频变压器多出两个接线端子。由于反馈方式上的差异和反馈深度降低，失真虽略有增加，但功率管的效率却有较大提高。后来又有人将威廉逊电路末级的自给偏压改为固定偏压，提高了电源利用效率，至此，威廉逊电路的演化过程基本结束。超线性电路是兼顾低效率和高保真度的折中解决方案，因其保真度大大超过了标准线性电路而得名。效率方面，超线性电路可以达到标准线性电路的五成左右，而威廉逊电路效率则只能接近标准线性电路的三成。保真度方面，仍然是威廉逊电路最好，超线性电路略低，标准线性电路较差。由于超线性电路的输出功率较大，符合追求大功率指标的当代潮流，适合市场营销，成为当今电子管放大器的主流产品。但在电子管音频放大器家族中，“威廉逊放大器”以其优良的品质来满足各种听音需求，为大多资深人士所推崇，认为“威廉逊放大器”已经登峰造极，是难以超越的，其优美温润的音质和传统端庄的形态，始终是发烧友的至爱。又因其电路精练简捷，安装调试简便，多少年来始终是众多发烧友心仪打造的Hi-Fi机器。

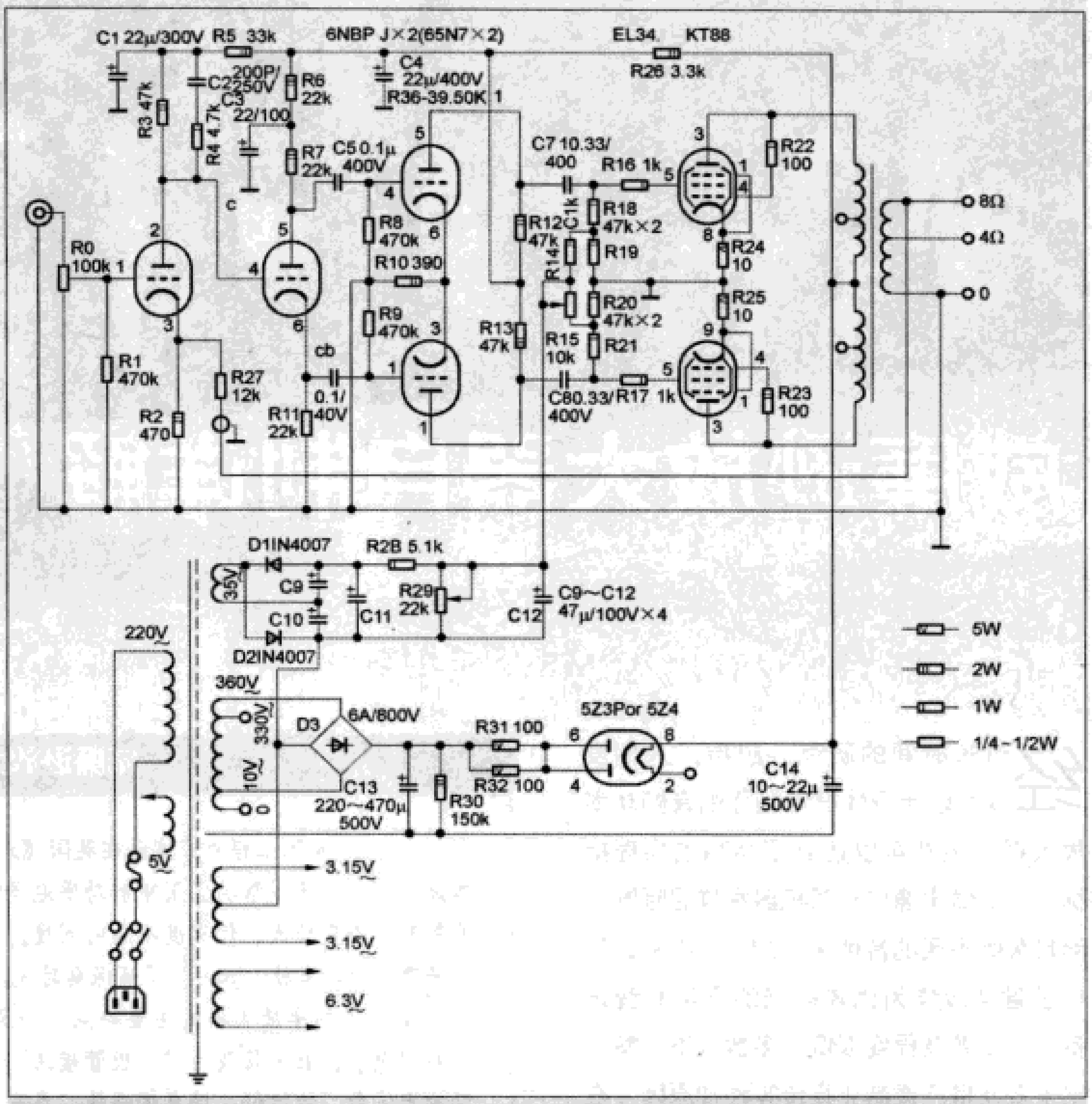


图1 威廉逊功放电路图

图2 安装调试好的机器

式关系不大）。厂矿区远距离广播使用线间变压器，并使用扬声器筒子配合高音头扩音（俗称“高音喇叭”）。卸下高音头，耳朵贴紧扬声器孔，可以清楚地听到100～200m外的说话声，可见其定向扩音能力之强，高音扬声器灵敏度估计高达100dB。电影放音机使用两只灵敏度高达98dB的15Ω或16Ω全频纸盆扬声器音箱，效率也十分了得。而现代高保真家用音箱的灵敏度一般只有86～90dB。由此可见，许多人把两种电声转换器件（扬声器）效率上的数倍差异，错误地当成了两类功放输出能力上的差异。依笔者的感觉，在近40m²的客厅里，威廉逊功放搭配灵敏度88dB的音箱，音量开到近一半时，听音响度平均在90dB上下，已经很享受了。再开大些，经常出现92dB以上的音量，显得有些吵闹。高电压配合变压器输出，音色温和圆润，抗过载能力强，过载削波软，耐听性好，无须很大的功率储备，这正是电子管放大器的特点和优势。

|说法二| 使用“搭棚焊”的电子管机器比印制电路板的好。

电子管功放元件少、体积大，变压器、扼流圈很笨重，当时也没有印制电路板安装工艺，长期以手工连接搭焊组装，几十年来“搭棚焊”工艺打造出许多经典名机，倍受推崇。印制电路板工艺是随半导体晶体管和集成电路发展起来的，使用印制板也生产了大量经典功放名机。按电工学理论，高电压、小电流的电子管放大器更适合采用印制电路板工艺，不但能减轻相互间干扰，提高工效，产品一致性好，而且业余条件下更容易安装成功。所以，电子管功放的质量，并不取决于哪一种安装、焊接工艺。“搭棚焊”是多年以前电子管机器唯一的焊接安装工艺，现在用“搭棚焊”装机只是个人的习惯爱好，说“搭棚焊” 的机子全面胜过使用印制板的机器，只是一些宣传炒作，没有任何理论支撑。至于一些“骨灰级”烧友，使用古董级元器件，以传统“搭棚焊”工艺刻意模仿原机接线布局，对经典老爷机进行“复刻”，只能是个人的兴趣所向。机器的质量，依然是由优秀的电路设计、可靠的元器件质量、合理的安装布线、精致的组装调试等因素决定，并不是由哪一种焊接方法所决定的。

威廉逊放大器经过数十年推敲改进，电路经典且成熟，适合爱好者仿制。但要组装成功，达到预期效果，还要有一些保障措施和条件。首先，高品质的音频输出变压器是决定机器品质的关键。市场上名牌产品价格太过昂贵，价格较低的作坊产品情况又不能令人信服，自己制作既可降低成本，又能够确保质量。音频变压器既要按高要求的绕制方法（四夹三或三夹二）来制作，达到很高水准，制作工艺还要简单易行，使有意者都能自制成功。第二，要有设计优良的印制板，简化安装和调试过程，确保安装成功。本文推荐的印制电路板，根据电子管电路的特点，用合理的走线布局，将大部分元件都安排在板子上。只要再把少数大型物件如功放管、变压器等接线焊接、连接好，经过简单的调试，组装工作即可完成。即使是初次接触电子管功放的爱好者，按图示和说明也能装配成功。三是在电路设计上，按高档功放机普遍采用的双“单声道”思路

设计，两套电源分别对左右声道独立供电，互不影响，分离度高。四是采用半导体桥式全波高压整流接续电子管整流方式。半导体整流桥可以使用大容量电解电容器，滤波效果好，供电能量平稳充沛，电子管整流能延迟高压加电，防止阴极中毒，延长电子管使用寿命。此种供电方式也使得电源变压器的绕制比较容易，便于自制或订购。此外，用铝制标准机箱安装制作，方便选购，加工容易，价格不高，档次不低。

本机的电路图见图1，安装调试好的机器见图2。为能够成功制作威廉逊功放，将分别就如何制作输出变压器、钣金加工和安装调试过程的注意事项和经验等，做较详细介绍。

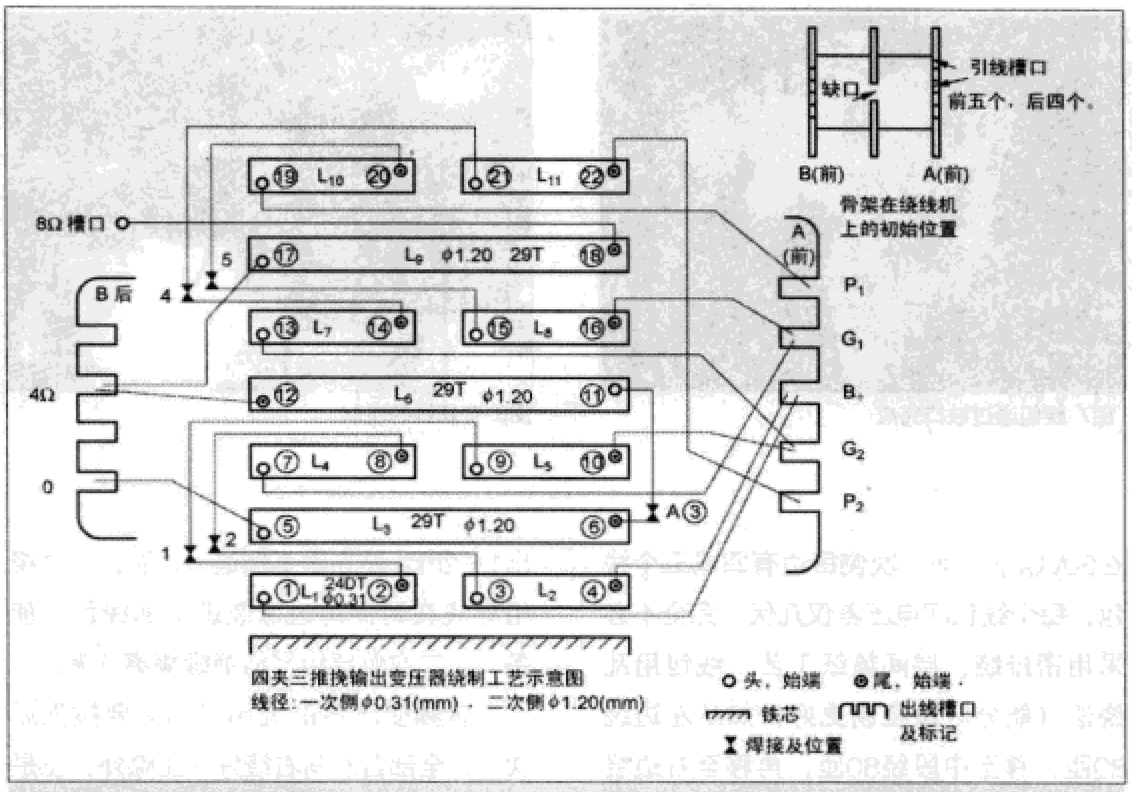


图3 四夹三音频输出变压器绕制图

制作音频输出变压器

20世纪90年代初，有刊物介绍国产金牛牌发烧级电子管推挽输出变压器，并推出用50W金牛GOX50-5.5推挽输出变压器仿“Dynaco-ST70”功放全套散件。出于对电子管的了解和喜爱，立即邮购了一套散件，并以560元的价格和75元邮资增购了一对75W的GOX75-5.5推挽输出变压器。“Dynaco-ST70”安装调试好以后，效果很好。用GOX75-5.5输出变压器制作的威廉逊功放，效果超过“Dynaco-ST70”，笔者就此产生了自己制作高品质输出变压器的兴趣。包括金牛品牌的许多知名音频变压器，大多是超线性输出变压器。有研究者认为，变压器一次侧超线性端子的接线（位于乙电端和屏极端之间）部位，越靠近屏极端，越能呈现三极管电路特性，保真度高而效率低，反之亦然。超线性接线端子部位在30%～50%之间有不同效果，一般距乙电端40%左右。但刊物上对于变压器的制作介绍，大多只有公式、数据和简图，制作方法介绍不是太过简单，就是过于玄虚复杂（可能没有实际做过），几乎见不到具体而详细的制作方法介绍，基本上都不具备可操作性。通过收集资料，研究揣摩，反复绕制实验，试听比较，总结出一套简单易行的制作方法。用一架手摇绕线机，数小时即可完成一个看似复杂的“四夹三”或“三夹二”变压器的绕制工作，而且不会搞错接线端子。自制可以降低成本，提高兴趣，熟练了还可以随时做几只备用，且效果与名品牌产品没有任何差别。虽然不知道其他人如何绕制（或许是卖家的商业秘密），但本文介绍的制作方法，实践证明简易可行，变压器多年使用下来没出任何问题，在此为读者做一下简单介绍。

根据四夹三音频输出变压器绕制图，见图3，有一定动手能力者制作成功并不难，为使少有经验者也能做出满意的东西，侧重于“四夹三”输出变压器的制作，配合各道制作工序的图示和图片，将方法和注意事项，做详细介绍（“三夹二”因绕法相同，更简单易制，介绍简要些）。

1. 音频变压器乙电至屏极端的电压

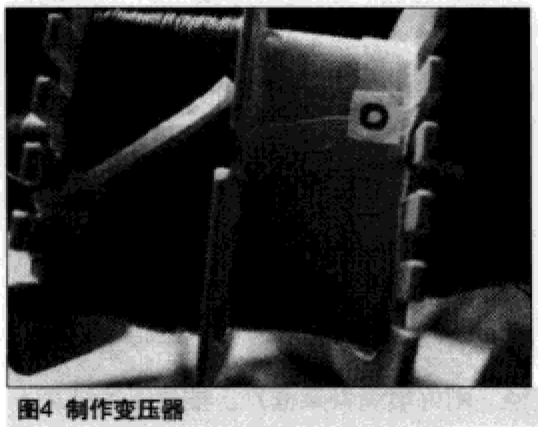


图4 制作变压器

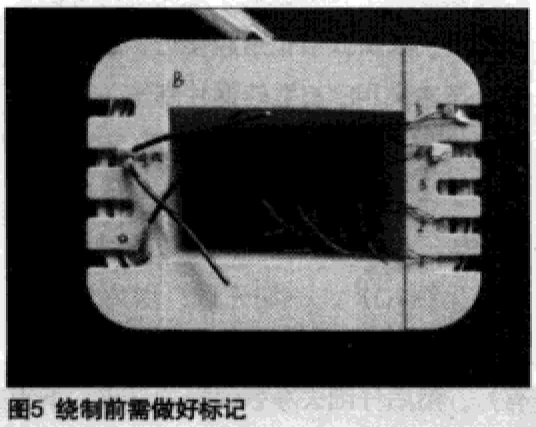


图5 绕制前需做好标记

图6 扰制工字型骨架前需要在中部加隔挡

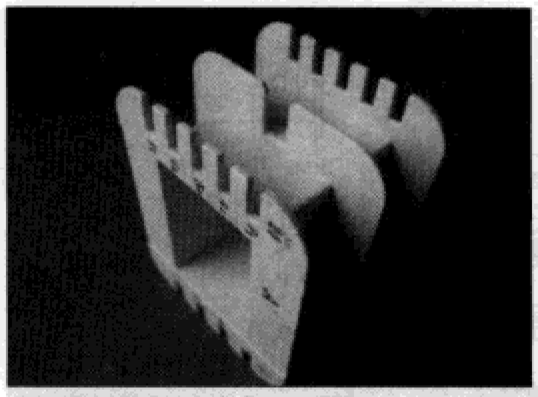


图7 绕组通过缺口完成

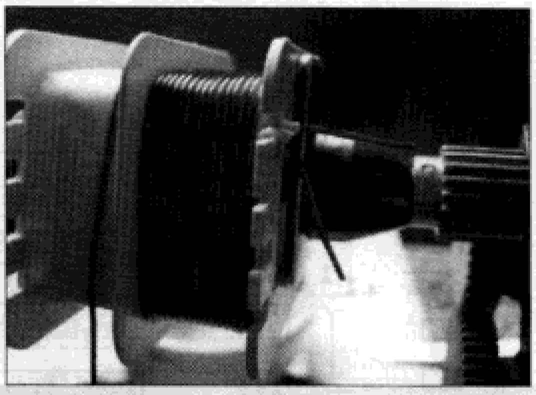


图8 变压器的绕制

图9 两侧对称性较好

在30V以下，而一次侧每边有四或三个线包，每个线包间电压差仅几伏，完全不必采用密排绕、层间垫纸工艺。线包用乱绕法（能分区段绕制更好，如从左边绕80匝，移至中段绕80匝，再移至右边绕80匝，1个一次侧线包即绕制完成，见图4），绕在“王”字型变压器骨架内，几分钟即可绕好1个，大大简化了工艺。

“王”字型骨架使用舌宽32mm×叠厚50mm（EI96硅钢片适用）或者舌宽28.6mm×叠厚50mm（EI86硅钢片适用）规格的。根据各绕组线包的绕制顺序，绕制前必须在“王”字型变压器骨架的各出线端槽口做好标记（很重要，见图5，如果是“工”字形骨架，要在中部加隔挡，见图6），还要预先在骨架中间挡正前面开出一10mm的缺口，用于安排各线包绕组的进出线，并供二次侧每个29匝的绕组通过缺口完成（见图7）。二次侧线径很粗，在绕线机上用手扳动骨架密平绕一层，就是一个绕组。只要做好各线包绕组、各进出线端子的绝缘隔离，就不会有问题。

绝缘隔离材料是一种叫“双面贴”的宽度20mm和8mm两种规格的白色胶带纸，胶带上的白色纸面要保留，各文具店或学校边小店里都有，价格便宜，绝缘强度很好，无论是为线包绕组还是为漆包线进出端子做绝缘隔离，都很好。使用方法是，先用20mm的双面贴将绕制完成的线包包裹一圈，因纸带宽度不够，再用8mm的补齐。注意线包两侧的纸边要多出1~2mm 贴在垂直侧边上，防止上边绕组导线在两侧角边缘嵌进下部线包，使各一、二次侧绕组严格绝缘隔离开来。

音频变压器的绕制工序只要按先后次序，全部自左向右绕好（L6除外，L6是接L3自右向左排绕29匝一层，见图9，把每个线包绕组的进出线头，按图索骥，依次序对号入座（见图5），就可以杜绝差错，一气呵成。

顺便指出，虽然威廉逊电路的三极管接法，不用超线性端子，但在绕制过程中，一次侧线包必须引出的连接端头，可以留出来当作超线性端子，效果很好，可谓不留白不留，丝毫不增加制作难度。如果要在一次侧线圈其他部位留UL端子，则要多出两个接线端头，复杂一些，可在积累一定经验，比较熟练之后再制作。

2. 检查检测。待全部绕制工作完成，从绕线机上退下骨架，将各接线槽口里漆包线端头刮去漆皮后扭接连通，用欧姆表进行检查测量。一、二次侧线包间的电阻应无穷大（最好能用摇表测量绝缘强度）。由于一次侧线圈的乙电端子到两边的超线性端子和屏极端子是完全对称的，测量出的欧姆数值也是越接近、越对称越好。按本文用EI96型硅钢片制作，乙电－超线－屏极端子的电阻分别约为20Ω和略大于 20Ω（线包越位于骨架外侧导线越长些，电阻越大些），两边的对称性很好（见图10）。一切无误，做好外层的绝缘封裹，标好各端子名称（骨架上也有）。然后仔细去净各线端的漆皮，搪锡焊接好各功能端子线，就进入插硅钢片和整体组装阶段。

3. 变压器用厚度0.35mm优质高硅钢片，以3片一组或两片一组对插，不留间隙。国产或进口的（如Z11型）优质硅钢片均可，全新的为好，叠片厚度50mm（见图10）。EI96型硅钢片（舌宽32mm）按四夹三方式绕制的性能最好，用EI86型(舌宽28.6mm)硅钢片或三夹二方式绕制的产品，听感稍单薄些,低频略感不足。要注意，大凡优质硅钢片都具有轧制取向性，有的可以看到取向纹，插片时一定要按相同面插。分辨的办法很简单：再精密的轧制片，用手指细摸，都可以区分出凹凸面，凸面光滑圆润，凹面有毛刺感。硅钢片无论E片和I片，只要按相同的轧制面叠插（如凸面全部朝上或全部朝下），就没有问题。这样做效果好，还能多插几片。硅钢片基本插满之后，为将其插实，可以在靠近变压器骨架两侧即出线槽口部位，顺着两片之间的缝隙再插进一片硅钢片，垫上小木板（如玩具积木扁条）等不会损伤硅钢片的衬物，用小锤小心地敲进去，这道工序要一片一片地进行，能插几片要视情况而定，一是要防止敲进的片子过多涨断了骨架或导线，二是不要在铁芯的中间部位敲进片子，否则容易戳伤线包或是外部的绝缘层。如果变压器线包略突出骨架，影响插片，可以裹好绝缘纸带后，在插片部位垫上毡布衬物，用静力压实，降低厚度（用本文推荐的线径，刚好填满骨架框）。插片工序结束，

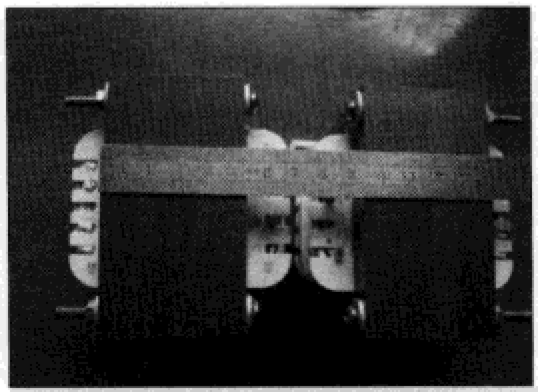


图10 硅钢叠片厚度为50mm

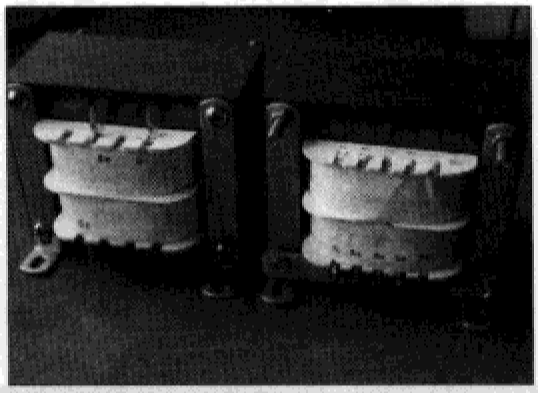


图11 将端子安装在接线架上

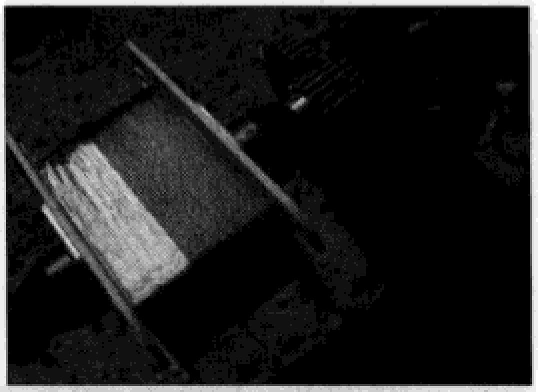


图13 变压器要做好绝缘

整形完毕，装上螺栓、支架，拧紧镙帽后，再把一次侧的5个端子安装在接线架上（见图11）。

实验中发现，硅钢片的松紧程度与变压器（P1和P2端子间）的电感量有很大关系。以本文介绍的两只“四夹三”音频变压器为例，在螺栓拧得非常紧的情况下，电感量不到19H，将4只螺帽中的一只略微拧松半扣，就超过19H，只要把两个螺丝稍微松一点点，电感量可以增加很多，超出了TD902数字电感电容表20H的测量范围（见图12）。通过调整螺栓，能增加变压器的电感量，也能很方便地使两只变压器电感量完全相同。如没有电感测量手段，只要按常规把螺栓紧固即可。这也说明，以较大并且完全相同的电感量来配对销售音频变压器，对于商家来说其实并不是一件难事。此外，有文章说，用绝缘套管和绝缘垫片，把螺栓、螺帽与铁芯做绝缘隔离，装配成型的变压器效果更佳，但试听对比却感觉不出差别，是否这样做请读者自便。

制作好的变压器，有条件可以上机试听一段时间后，然后再做浸漆防潮处理。塑料骨架不耐高温，不能烘烤煮漆去潮，可以里里外外反复多涂几遍清漆，长期使用并无大碍。如果是电木骨架，也许可以用隔水浸煮（过去木工熬骨胶）方法，将装有清漆或石蜡松香熔液的金属容器置于煮沸的水锅里，变压器吊入金属容器中视情况浸煮后吊出（笔者并未这样做）。

4. 将音频变压器与电源变压器装进铁制罩子里。电源变压器用EI96高硅钢片叠厚60mm的“工”字骨架制作，如果用EI105型优质硅钢片，效果应该更好（可适当加粗初级线径），但体积稍大，要用竖式夹铁（又称立式，硅钢片呈日字立状）来安装，音频变压器横式安装。总之，两种不同种类的变压器必须一横向一竖向制作安装，这样相互间影响最小。牛罩的内尺寸应不小于长102mm×宽88mm×高108mm,只要机箱尺寸允许，略大些也无妨。电源变压器因接入市电，如果自制一定要做好绝缘，不要省去每层间垫纸（可用涤纶胶带，见图13）工序，相对于制作音频变压器，更费时力。电源变压器的规格数据见图14，制成品见图15，交流高压可在330~360V之间每10V为一挡选择。由于电源变压器购置成本较低，定购定制渠道较多，读者不妨自己购买。

制作印制电路板

此次笔者使用的印制电路板方法是曾经在《无线电》杂志社介绍过的双面覆铜印制板制作法，就不在此详细赘述，对于板图感兴趣的朋友可以去《无线电》官方网站上进行下载。

机箱加工

机箱用规格长410mm×宽59mm×高308mm的铝制机箱，上下板厚度为2~3mm，6个面均可拆装，容易加工，美观坚固，加工尺寸图可在无线电网站www.radio.com.cn进行下载。请注意，虽然标出了4个变压器安装孔的尺寸，但要按实际情况调整。在此讲一下钣金加工的方法和注意事项。

1. 机箱的上盖面板是主要的钣金加工面。为保护铝板外观面的电氧化膜，加工前先用较结实的纸，把外观面粘贴严实，再用细铅笔在纸面上画线放样。前已述及，用于固定印制板用的9个孔，最好利用印制板孔定位画出。钻孔前一定要用洋冲先定位，再用直径略小于规定尺寸的钻头钻孔（如Φ3mm的孔用Φ2mm的钻头，Φ7mm的孔用Φ5mm钻头）。然

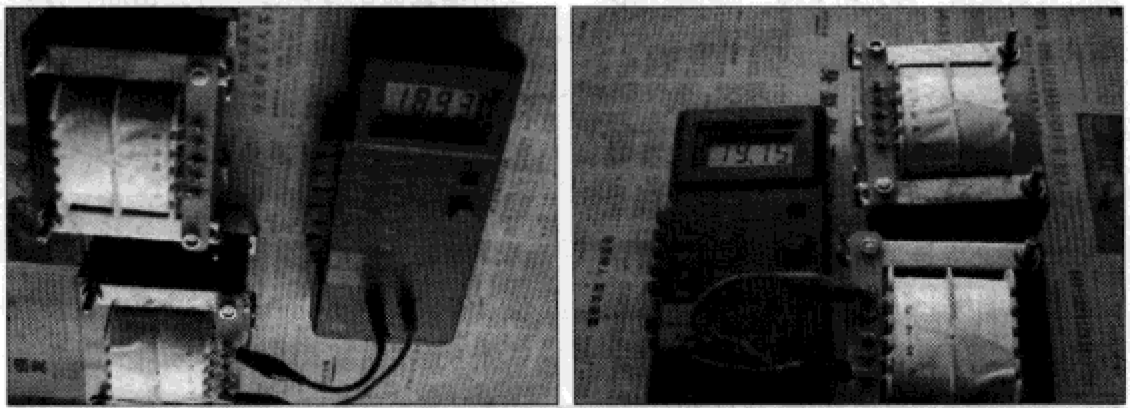


图12 硅钢片的松紧程度对变压器电感量有一定影响

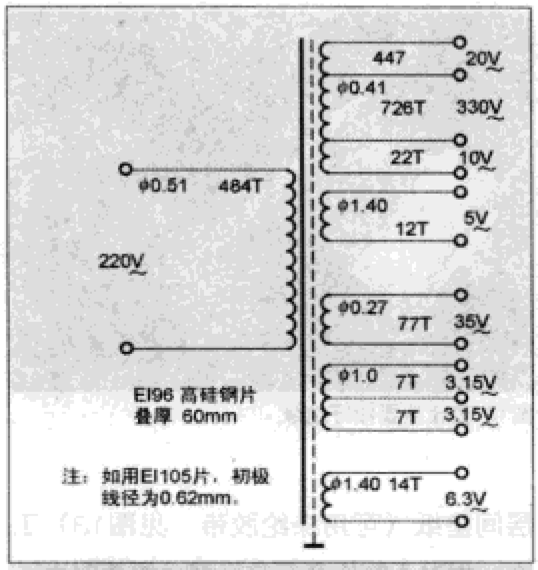


图14 电源变压器的规格

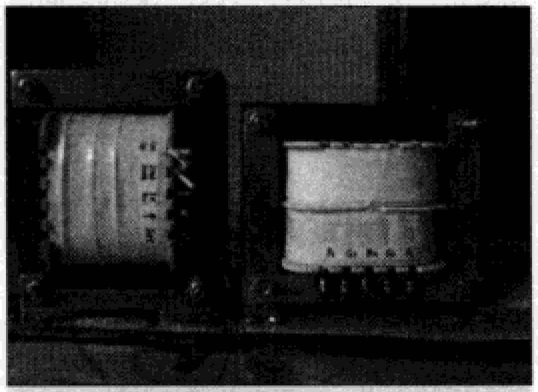


图15 电源变压器的制成品

后，务必将板子翻过来，从反面用符合要求的钻头成孔。打孔时，滴上少许润滑油（食用油亦可），既容易加工，孔也更漂亮。从反面加工，可以保护外观面不被划伤破相。

2. 用金属开孔器开大圆孔，中心定位孔打好后，一定要从板的反面开大孔，加工中途要多次加润滑油，才能顺利开好开漂亮。

3. 在加工件上打（不通的）盲孔或攻丝，更要先小孔再扩大来完成。在铝件上攻丝孔时，要在孔内滴上少许润滑油再攻，将丝锥装在扳手或手电钻上（不要接电），用手拧进1~2mm，就反转退出残屑一次，很容易加工。机箱上盖板有两个固定大电解电容器的支架，共有4个螺丝孔，如果攻成直径3mm的丝孔，装卸将十分方便。机箱前面板有6~8mm厚，为安装自锁电源开关和音量电位器，需要在内侧各打两个直径2.5mm的盲孔，攻直径3mm丝孔。开关和电位器用通孔安装方便些，加工处理得当也很美观。如果所购机箱的前面板是加工好的，装配将更省事。

整机的安装调试

1. 安装前的准备工作。整机安装前，要将需要安装在前、后板上的物件，如电源开关、电位器，电源插座、保险管座、6个音箱接线柱、两个输入RCA座等，试装配一下，无问题即可。前后板标出了各器件的安装位置，但给出的开孔孔径只供参考，要依各元器件的实际尺寸而定。音频输入RCA座要选择能与机箱绝缘的品种，否则要做好与机箱的绝缘。上面盖板上，4只变压器（两只电源变压器在中部）、4个八脚搭棚焊管座（用直径3mm平头螺丝，固定箍从下面装，外观漂亮些）和大电解电容器支架，安装尺寸如无问题，除4只变压器外，其余的可以固定好。上盖板用于固定印制板的9个孔，用9颗直径3mm、长20mm的平头螺丝，紧紧固定在上盖板上，并使空印制板能轻松地通过9颗螺丝固定在盖板下面。

2. 安装、焊接印制板上的元件。先将6个八脚瓷质管座焊在上印制板面，注意每个管座定位槽的方向，千万不能搞错。将上下敷铜走线（或单面印制板上的跳线）透焊连接点焊接好，不能漏焊。用绝缘导线架高焊接R26至R12与R13的连接点。把前级和推动级两只电子管座的灯丝用双绞线焊好。整机所有的元器件是以印制板中线为轴，左、右对称排列的，焊接时不易出错，查找也方便。两个声道所用的同规格的元件，要一次性挑选好，一次性安装、焊接完毕，力求精度一致。

电阻（以每声道为例）：除连接功率管帘栅极（4脚）至屏极（3脚）的电阻R22 和R23是焊接在管座脚上，其余全部在印制板上。有9只电阻焊在下印制板面：多圈可调电阻R29(调节到10kΩ左右)、R15（焊接前调节到5.1kΩ与R14阻值相等），电阻R13、R24、R25、R26、R30、R31、R32。

电容（以每声道为例）：大电解电容器C1用绝缘导线焊接后安装在机箱上盖板的支架上（如果把上盖板的孔径开大，C1也可直接焊在印制板上面）。电容C2与电阻R4串接后焊在上印制板面。其余电容全部焊在下印制板面。

整流全桥焊在下印制板面。其他元件均安放在上印制板面。

凡是安装在上印制板面的元件，都要按常规打焊接孔。凡是安装在下印制板面的元件，都要将引脚折成L状，便于焊接牢固。

3. 整机连接。印制板焊接加工好之后，与电路图、设计安装图仔细对照检查无误，即可进行整部机器的连接、装配。有三点请注意（两个声道相同）：一是从电源变压器引出的交流电全部用双绞线焊接后再绑扎（见图16）。二是音频输入RCA座的连接。单芯屏蔽线外层金属线一端焊在RCA座的地端子上（地端子与机箱体绝缘），另一端与音量电位器R0中点滑动臂上的单芯屏蔽线外层端相焊接，再共同焊接在电位器R0的接地臂上，电位器R0接地臂用粗导线焊接在R1的接地处，三是每声道印制板外的元器件接地处理。比如两类变压器的接地，扬声器接线柱的接地等，均焊接在各自整流全桥的地端附近，再从此点用导线就近焊接在印制板后部中间螺丝上安装的公共的焊片上，焊片是两声道与机壳连接的公共地，左右两个声道只在此焊片处一点（通过螺丝）接机壳公共地。如果三芯电源插座的接地端子（在中间）接机壳，也焊接在此焊片上。

4. 初步调试。由于电源是各自独立的，两声道可分别调试。如无意外，初步调试将非常简单，只要根据不同型号的束射功率管，调整好相应管子5脚的栅负压值（KT88为-48V，EL34为-26V）,初步调试即告完成，基本能做到“即插即响”。如果元器件质量好，管子配对情况好，可以说整机已经装配成功。

注意：初步调试阶段千万不要插接束射功率管。调试时断电后一定要等高压电放尽再更换元件，防止被电击。初步调试步骤如下：

首先，接通电源，调节多圈电阻R29，使两个功放管5脚的栅负压值完全相等（比如用KT88，都是-48.23V，如略有差异，可调节多圈电阻R15解决）。接下来，插上整流电子管5Z3P或5Z4P、两只6N8P（6SN7），灯丝亮，两只6N8P管座屏极2、5脚有高压，推动管两个屏极2、5脚的电压应基本一致。功率管屏极3脚电压即乙电电压。如无问题，另一声道用相同方法处理。通过调节两声道的可调电阻R29、R15，使4只功率管的栅极负电压完全一致（比如4个管子5脚都是-48.23V）。左右两声道其他各对应点的电压应基本相同。至此，可以接上音箱，插上功率管了。切记在插上功率管之前，要先把功放的负载（音箱）连接妥当，至关重要（不主张用大功率电阻做假负载，因为不易在出现问题时立即关机）。电子管功放绝对不能脱离负载开机。为保险起见，也是先插上一个声道的两只束射功率管，通电后扬声器如发出异响要立即关机检查，正常情况下两只功率管阴极（1、8脚相连接）10Ω电阻R24、R25上应有0.3~0.5V电压（静态屏流30~50mA），触碰输入端子，音箱应发出响亮的声音。如无问题，再插上另一声道的两只束射功率管，情况也应一样。最后把负反馈线连接好（用单芯屏蔽线，从8Ω扬声器接线柱焊点到电阻R8焊点，屏蔽层在R2附近一端接地），接好后如放音发毛或更响，要把音频变压器的两个屏极接线（P1-P2）对调焊接。至此，初步调试即告结束。从输入端引进信号，可放出响亮的声音。

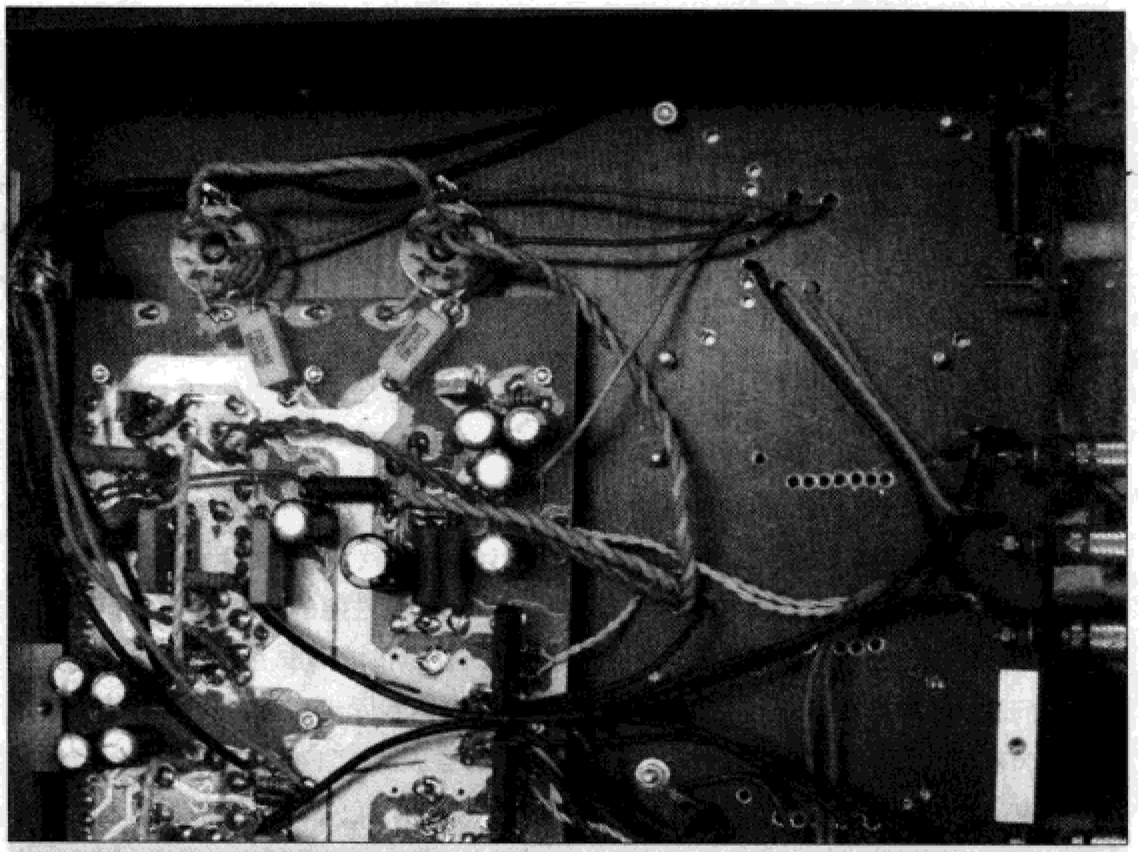


图16 焊接、绑扎后的机箱内部照片

整机细调。（1）功放管选配分组。市面上4只一组比较廉价的功放管，配对情况不是太好。初步调试机器时，4只管子可能是随机插上的。由于4个管子的栅负偏压已经调整相同，在静态条件下（音量电位器关闭至最小或输入端无信号进入），用数字表测量4个功率管阴极10Ω电阻R24、R25两端直流电压，将电压相近的两只选配为一对使用（如0.36V与0.37V的为一对，0.39V与0.40V的为一对），效果较好，并做上记号重新定位插上。推动管的两个屏极电压相差较大则要换管，相差不大（3V以内）可不用理会，也可调整R13的阻值解决。（2）调节多圈可调电阻R29，使4个功放管静态屏流在40mA左右，功放管阴极对地电压为0.4V左右。静态状态，将数字交流电压表并接在负载两端，细调可调电阻R15，令交流电压值最小；也可在夜深人静时仔细调R15，使扬声器里的交流噪声最小（此法较为直观）。（3）放音累计达到30小时之后，检查一遍4个功率管的阴极对地电压值，如有变化，按上述方法重新调整。调整好之后，逐个用相同阻值的1W电阻换下4个多圈可调电阻R15、R29。

经过如上步骤，威廉逊功率放大器的安装、调整工作全部结束。无信号输入时，距音箱20cm听不到噪声，信噪比指标极佳，音色温暖圆润。

最后，谈谈选择电子管的问题，只是个人观点。（1）用不着刻意购买高价外国管子，国产管子物美价廉，性价比高，两者并无多大差别。（2）慎用二手管子，无论国产或外国的，尤其是高价的外国货。二手管子的质量、一致性很难保证，徒增调试难度。（3）电子管功放常见的束射功率管，按功率指标分为KT88、EL34、6P3P三个级别，各级别都有几个不同型号的管子，音色有细微的差别。音色最温暖可人的是6P3P这个级别的管子，但使用电压不应超过350V（虽然输出功率小一些，一般情况下也够用了）。EL34这个功率级别的束射五极管，如6CA7、KT66等，音色接近6P3P，功率接近KT88，价格不高，功率不低，介于两者之间，十分适合爱好者使用。用KT88，声音敦厚威猛，但价格高了些。（4）本机输入倒相级6N8P（6SN7）可用6N9P（6SL7）直接代换，感觉音色更温暖、开朗些，本人比较喜欢。

值得借鉴的入门级DAC制作与测试手法

◇蒋官今

编者按：本文作者为我们介绍的这款入门级DAC制作与测试，以现在的眼光来看技术可能有些陈旧，但是尽管技术发展迅速，新品更替令人目不暇接，有一些制作工艺与注意事项还是值得我们共同注意的。

ΔΣ技术的出现使音频DAC的业余设计与制作变得越来越普及，20年前的CS4328和近年出现的ESS9018都堪称典范之作，只是都存在芯片价格高和购买渠道难的问题。本设计以市场上容易采购的元器件为基础，方便各位爱好者以较低成本获得高品质的音乐重放性能。

设计目标

这款DAC以CD高品质重放为目标，没有考虑时下流行的USB等接口。在我们设计完善这款DAC的数年时间里，新接口技术和更高性能的DA芯片层出不穷，但由于自己当时的测试手段和相应的测试水平没有得到同步提高，所以目标仍锁定在CD重放上。CD格式的行业测试标准是CP－2404（EIAJ），最初我们采用符合测试标准的ABEX和SONY的测试CD作为信号源，配合示波器进行一些简单的测试，后来逐步采用AP进行综合测试，对于CD重放SYSTEM ONE已经能完全满足要求。

电路设计

图1所示是此款DAC的电路图。

数字部分线路比较简单，在入门级的设计里没有加入时钟处理部分，需要指出的是，如果没有抖动分析仪等相关测试设备辅助，仅从理论上进行降低jitter的设计无异于盲人摸象。数字接收解调

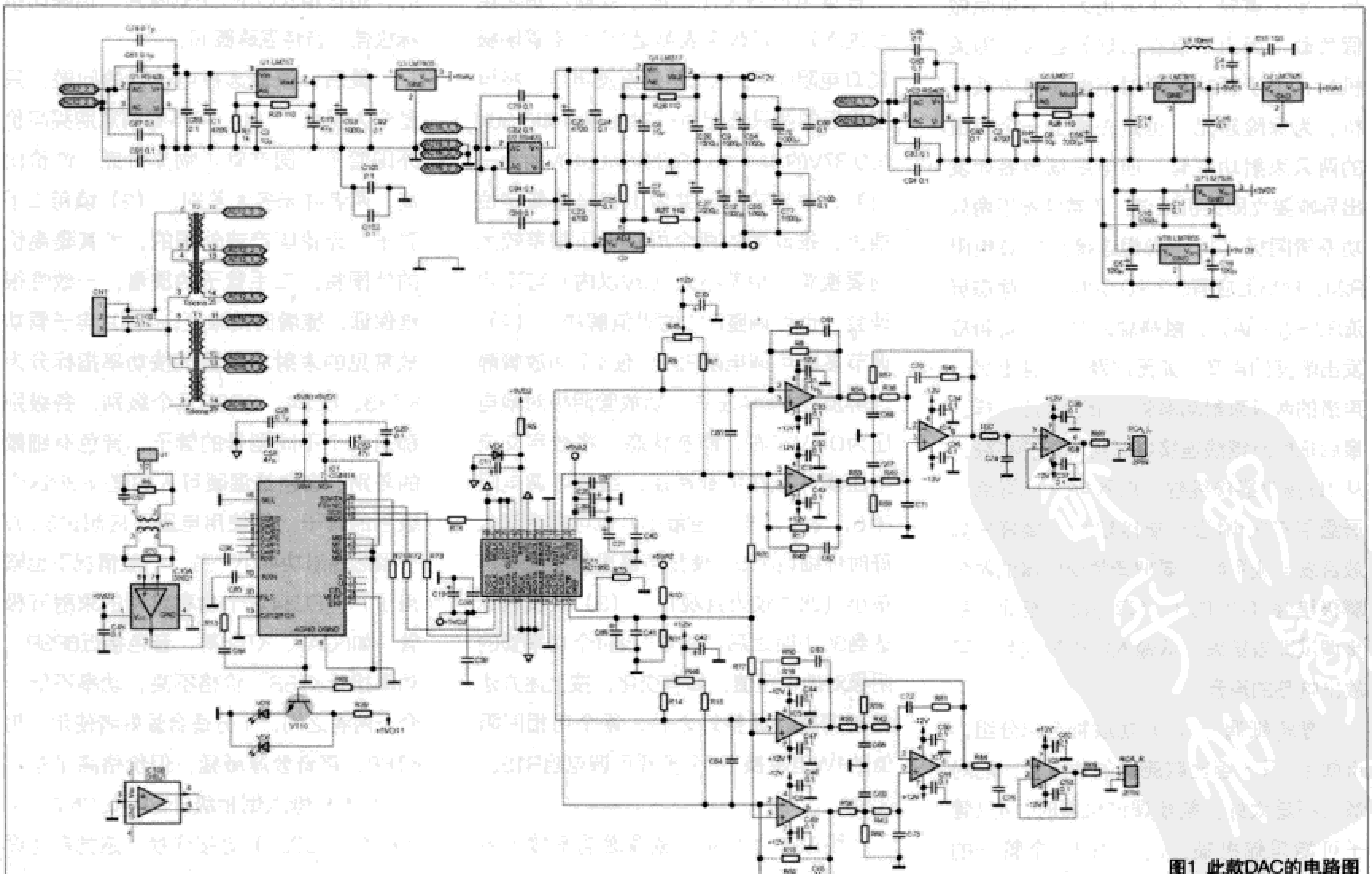


图1 此款DAC的电路图

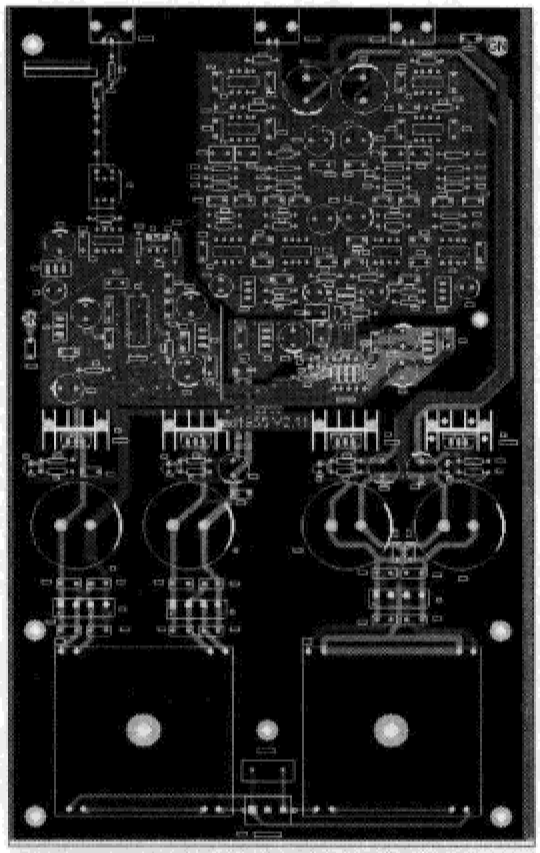


图2 此款DAC的PCB布线

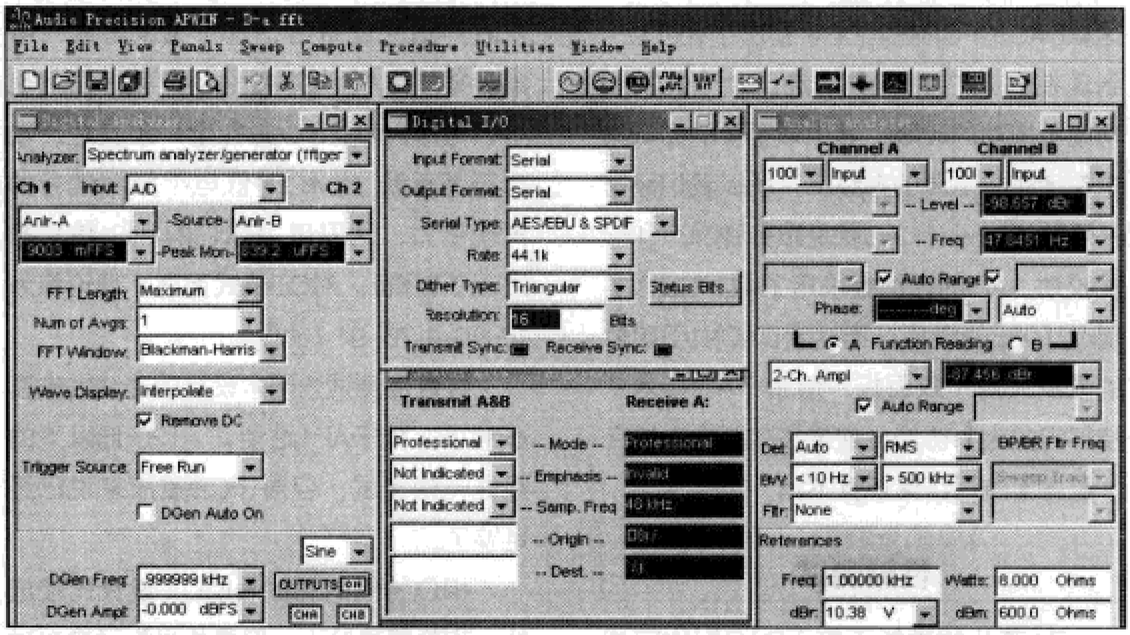
用大家熟悉的CS8414，采样率自适应支持32kHz～96kHz/24bit，输出格式设置为I^2S。数模转换用AD1955，硬件模式下MCK为256fs，采样率最高支持96kHz/24bit。如果要完成192kHz采样率文件的重放，我以后会介绍另一款用软件模式的AD1955解码器。在CS8414的输入端增设了一个由DS8921构成的RS422接收电路。

模拟部分以左声道为例，由IC2，IC3完成I/V转换，IC4完成差动放大与LPF，最后由IC8缓冲输出。R45是多圈可调电阻，串联在AD1955输出端的上拉电阻上，调整R45可使IC8输出中点维持在0mV附近而无需耦合电容。需要注意的是，R45取值的1/2会叠加到上拉电阻上，一方面为了维持尽可能小的系统温漂，R45阻值不宜过大，另一方面由于$R_{Pull\text{-}up}=(V_{SUPPLY}-V_{Bias})/[I_{bias}+(V_{Bias}/Ri/V)]$，模拟部分的电源电压需要相应微调。IC4及周边元件构成-3dB在50kHz的MFB低通滤波器，滤波函数采用巴特沃斯。关于LPF的设计与验证可以利用ADI或TI官网提供的设计软件和仿真软件。

电源部分的设计以实用为主，与R-2R时代的DA芯片相比，尽管ΔΣ时代的芯片PSRR指标已经大大改善，但本设计中仍充分考虑到电源本身的输出噪声和波纹对主线路的影响。模拟部分单独一只变压器，稳压采用LM317/337。另一只变压器的两个绕组分别为数字5V和模拟5V供电，第一级稳压采用LM317稳压到9V，第二级稳压采用分布式，将LM2940-5就近安排在各IC的数字电源脚和模拟电源脚附近。LM2940是老牌的LDO，输出噪声和波纹抑制优于同期其他三端稳压器，在后期的设计中我们采用了LT1763等更高性能的新型LDO。

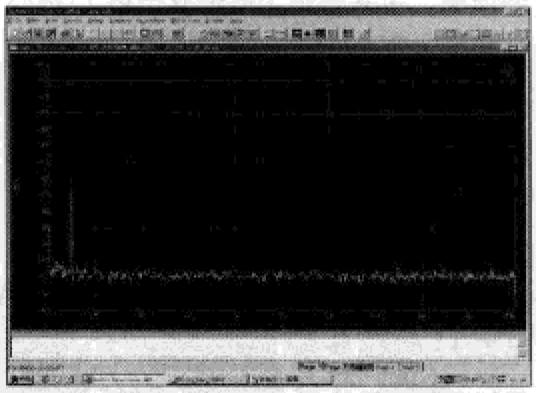
PCB布线

对大多数的DAC设计来说，线路部分设计相对简单，真正具有挑战性的是PCB布线，甚至很多理论上设计完美的线路也由于布线上的缺陷而功亏一篑，DIYer更是

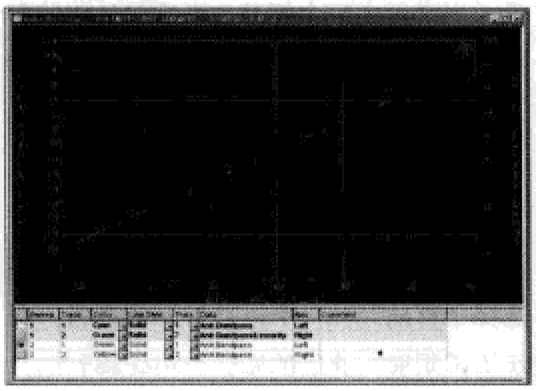


(A) AUDIO PRECISION SYSTEM ONE设置

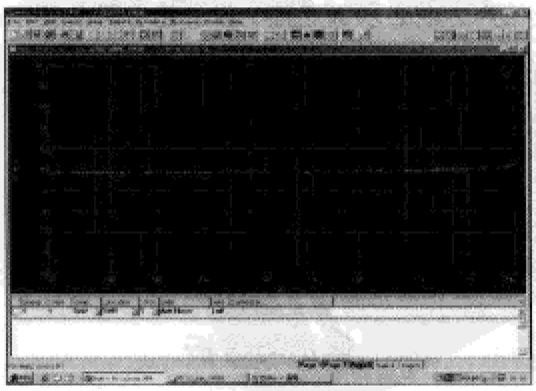
(B) 频率响应



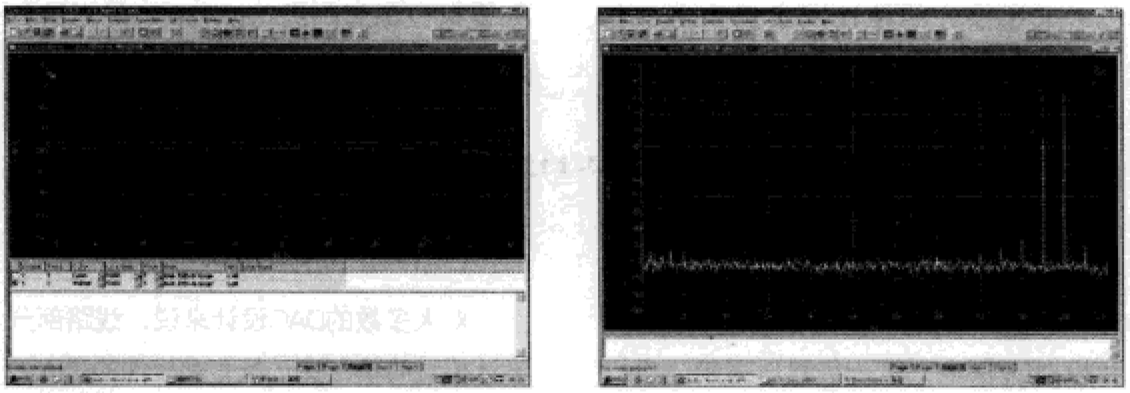
(C) 动态范围（DNR）



(D) 线性度



(E) 相位特性



(F) THD+N

(G) 互调失真

图3 用AUDIO PRECISION SYSTEM ONE进行测试

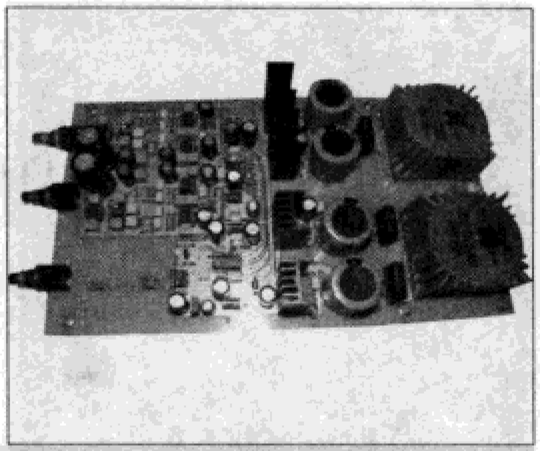


图4 制作完毕的DAC

经常由于布线原因将极品芯片点金成石。这款DAC的PCB在2006年初出了Ver1.0，到现在的Ver2.11，其间经历过十几次成功或不成功的改版，其中最主要的尝试集中在地线与电源的布线上，所以我们经常开玩笑说，设计DAC就是跟各种噪声和干扰较劲。ADI的评估板采用了4层PCB来实现AD1955的性能，而这台DAC由于定位的限制只用了双面板，但由于ADI技术支持部门的大力协助，使最终的版本在综合性能方面测试结果还算不错。

性能测试

DA芯片的性能不等于DAC制作完成的性能，与其纠结于数据表中这个DA芯片指标比那个DA芯片高或低多少，不如努力尝试如何去发挥出它们应有的水平。测试阶段其实一直贯穿于整个设计制作过程，而非仅满足于得到一组漂亮的数据。这样一方面可以发现存在的问题加以改进，另一方面也可以检测最终完成的设计是否达到预期。我们坚信良好的测试指标是好声音来源的基础，在进行最后的主观校声之前必须确定整个设计是否符合基本要求，否则最关键的校声过程会让人迷失在负负得正的假象里。

测试所采用的设备是AUDIO PRECISION SYSTEM ONE，输入信号格式为44.1kHz/16bit，具体测试过程如图3所示。

结论与分析

大多数指标都达到了设计预期。频率响应测试结果为10～20kHz±0.2dB，左右声道完全重合。这个结果是综合听感调整LPF转折频率妥协的产物，虽然也可以做成20kHz±0dB完全一条直线。动态范围反映了DAC对低电平微弱信号的再现能力，这里用-60dB的1kHz信号来进行FFT分析，对CD格式而言，理论值为16×6+1.76=97.76dB。

线性度测试表明本设计的非线性失真非常小，限于AP1性能，-120dB以下的线性无法测试，但对于CD重放来说已经足够了。

相位特性的测试表明LPF设计比较成功，高频相移较小，但是如果为了追求过厚的中频而进一步压低转折频率则可能恶化与声场相关的层次感与空间感。THD+N在-96～-98dB之间，符合CD格式的理论值。两个声道没有重合是因为测量误差造成的，同样的情况也出现在前面的通道分离度测量上。

互调失真采用19kHz和20kHz的0dB信号混合输入，其谐波成分及强度表明该项指标做得比较理想，我们希望DAC能准确重放出音乐中每个细节，而不是让这些复杂的成分相互调制。

元件选择与校声

这台DAC设计之初，考虑到满足动手派的需求，除了非用不可的位置之外大多选择了直插元件，不过贴片元件在各方面优势更明显，此后的设计都将转移到贴片元件应用。在具体的元件选择方面，首先是保证元件品质，尽量不用拆机件。对这台DAC的信心来自良好的系统设计，无需太多补品来装点门面，特别要慎用那些个性太强的被动元件，其次我们要求模拟部分的电阻精度不低于1%，LPF部分的电容则尽可能配对。无论采用何种技术，无论采用什么元件，最终都要为听感服务，而作为音源我们首先希望它要平衡，在尽可能多地释放细节的同时也要耐听和宽松，最终的试听结果与测试结果相当吻合，避免了常见设计只强调解析力而音乐味不足的毛病。

当然你也可以把这个平台当作一个调色板，随意搭配出自己喜欢的音色。除了利用元件搭配来达到目标，还可以重新计算一套符合自己需要的参数，这样的结果可能更有成就感。以输出电平为例，设计参考值为2Vrms，影响它的共有三个因素：（1）AD1955第14脚由R75所决定的参考电流，（2）由R8/R17决定的I/V转换级的输出电平，（3）差动放大级的增益。微调这三个因素可以获得明显不同的实际听音感受，只是在计算的时候需要注意R75的改变会引起R6、R7的联动。

结束语

CD格式发布已经有三十多年了，它当时想要取代的黑胶唱片至今仍有不少爱好者拥护。而今CD在各类新格式文件的冲击下已疲态尽显，当完成这台DAC以后，我们会发现原来CD其实也如此动听。

低成本靓声胆机的制作

◇陈强

近年来，随着电子管音频放大电路的逐步升温，一些老的优质器件越来越不好寻觅了，尤其是老电子管收音机里的输出变压器，再就是电源变压器也很难找到了。胆机的关键器件输出变压器，在以前大多是使用老的电子管收音机里的输出变压器。老电子管收音机的输出变压器，在网络上虽然有卖的，但是价格偏高，一只少则二十多元，多则五十多元，而且都是年代久远，质量无法保证；电源变压器则更加难以购买。现在的胆机功放，都是立体声双声道的，我曾经使用一只电子管收音机里的电源变压器为2只6P1和一只6N2 提供电源，在冬季，变压器表面的温度为40～50℃，但是到了夏季，温度飙升到70～80℃，增加了不安全因素。电子管收音机电源变压器功率45～50W，使用一只电子管收音机的变压器，功率不够，两只变压器，又功率浪费了。在网络上邮购这样一只电源变压器价格都在80～100元，这让一些想要自己DIY的准烧友都望而却步了。为了满足发烧的愿望，我制作了一台使用目前在市面上容易买到的、价格低廉的器件的低成本胆机。

我采用了没有反馈的电路，前级使用6N2作为电压放大，阴极采用1kΩ的电阻，这样在阳极电流为2mA的时候电压降为1.5V。现在流行的MP3的耳机输出电压为1V左右，在中等音量时正好处在6N2的放大直线区域，这样能保证音频信号放大的均衡性。栅极电压为-1.5V，阳极负载电阻为47kΩ，接入210V左右电压时阳极电压为190V，阳极电流为2mA。这样的工作状态正好处在6N2的线性区域内。当栅极输入摆幅为1V的音频信号时，阳极能输出摆幅达到15～20V的驱动信号，去推动6P1。6N2的阴极电阻并联电解电容，目的是为了让不同的音频信号都能得到均衡放大，保证了信号的原汁原

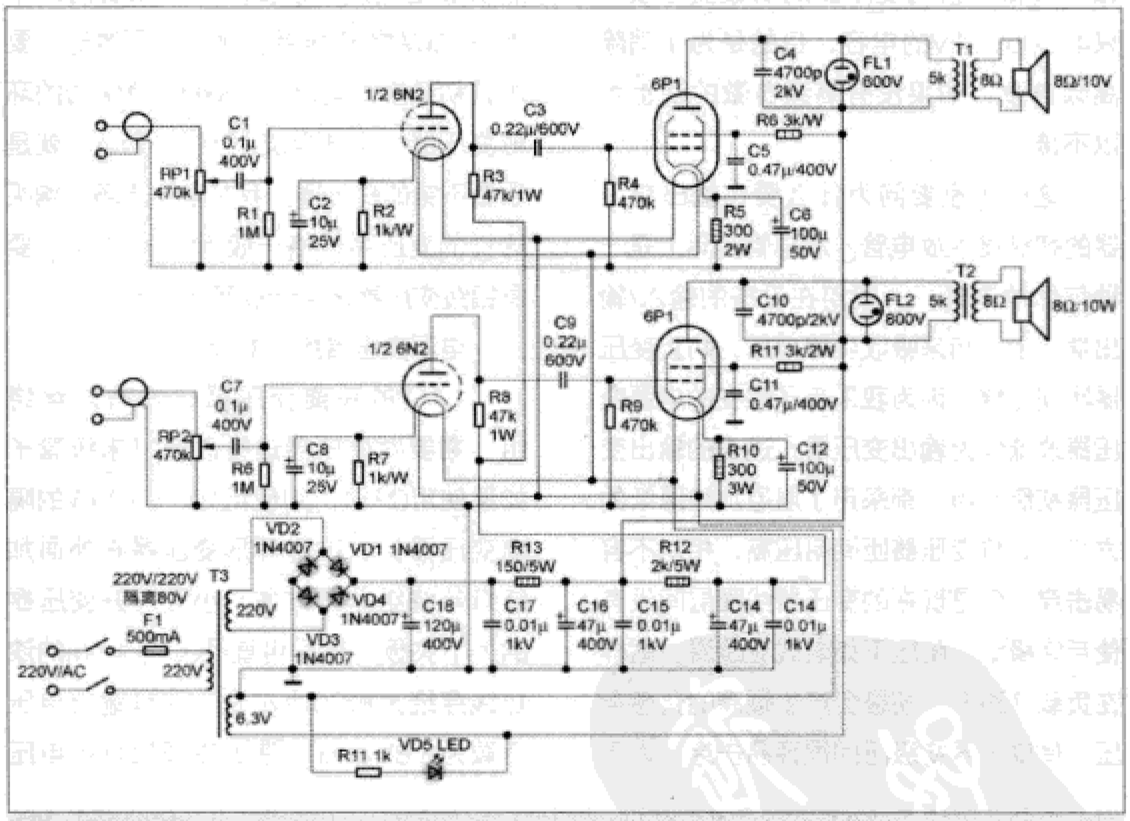


图2 电路原理图

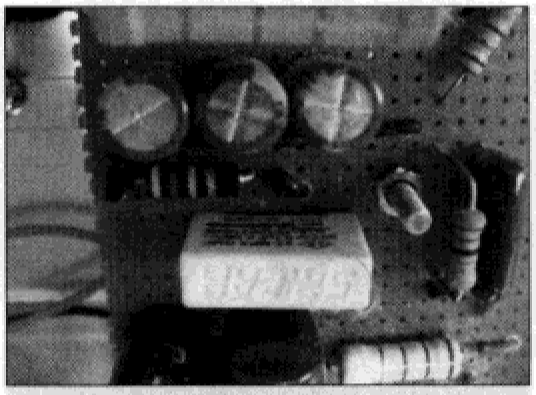


图1 安规电容作耦合电容

味。低音也得到了提升，阴极电容对音质的影响比较大，我选择了著名的伊娜电解电容。伊娜电解可以让音质变得温暖，胆味足。尽管采用了小容量电容，但价格仅仅比普通电容高一点，在电子市场花几角钱就可买到一只。

耦合电容我采用了安规电容，这种电容容量一致性好，一般都是采用CBB材料的。安规电容附加电感也非常小，我使用电感电桥测量，附加电感与红色威玛电容相当。但是安规电容的价格只有红色威玛的几分之一，采用盲听测试没能分辨出安规电容与红色威玛电容的区别。这样在耦合电容上又省出一些费用来（耦合电容盲

听测试我使用了邓丽君的《淡淡幽情》专辑，找了几个资深的邓丽君歌迷一起进行的测试。）

图1所示是安规电容在我制作的胆机中作耦合电容。6P1是采用标准的五级管的接法。帘栅极是采用3kΩ电阻接到阳极电源的正极，再在帘栅极对地接0.47μF的CBB电容，帘栅极电流为6～8mA。阴极电阻是300Ω/3W的金属膜电阻。阴极电容也是100μF/50V的伊娜电解电容。这种电解电容在电子市场是以一只1元的价格购买的。栅漏电阻采用470kΩ的电阻。阴极电阻为300Ω时，阳极电流为40～48mA。当两路放大都工作时，阳极电压为230～240V，比标准250V阳极电压低10～20V，这样输出功率比标准的要低几十毫瓦，相对于总功率来说影响微乎其微。输出变压器的初级要并联一只4700pF/2kV的电容，目的是为了消除高频自激，如果没有高频自激的话也可以不接。

这时大家要问为什么要在输出变压器的初级接入放电管？放电管实际上是一种气体放电管，一般用在设备的输入/输出端口上，用来吸收尖峰电压，防止变压器匝间击穿。因为我采用了现在的电源变压器改造作为输出变压器，过去的输出变压器初级绕组，都采用了层层加绝缘纸的方式，这样变压器匝间耐压高，相对不容易击穿。但是现在的变压器线圈层间没有使用绝缘纸，耐压不如老式变压器。这样在负载开路时，初级会产生很高的自感电压，使变压器初级匝间很容易击穿。为了避免这种情况的发生，我在变压器初级并联了气体放电管，用来吸收过高的尖峰电压。我曾经试验了，让输出变压器次级断开，然后输入伏值为1V左右的音频信号，时间达到20多分钟，变压器没有任何损伤。我采用的气体放电管，在没有击穿的时候，分布电容仅仅几皮法，对音质没有任何影响。

电路原理图如图2所示。

我对这个电路的元件选择，都是本着易找、价格低廉、但又不影响性能的前提。下面着重对电源变压器和输出变压器的选择以及简单改造说一说。

电源变压器我选择了1：1隔离环形变压器，功率为70～80W。顺便提一下，铝线变压器也可以使用，但是功率选择要比铜线变压器大10%～20%的。我这个胆机要是使用铝线变压器，则要用功率90～100W的变压器。挑选变压器时，要测试初级空载电流，一般80～100W的环形变压器，空载电流不大于20mA，就是质量不错的变压器。我在电子市场中购买这样的变压器价格一般为60～70元，要是铝线变压器则50元就可以买到。

电源变压器如图3所示。

1：1的隔离变压器，没有灯丝绕组，需要对变压器进行改造（末级管子如果使用6P14，则使用100～120W的隔离变压器）。这种环形变压器在外面加绕灯丝绕组非常方便。小心拆开变压器的上下夹板，然后用直径0.7～1mm的漆包线穿绕大概36匝左右，这样输出电压空载为6.8V左右。带上负载后灯丝电压为6.2～6.4V（根据当地市电电压略有不同）。电源变压器的改造如图4所示。

变压器本身不用做任何改动，仅仅拆下上下夹板，穿绕漆包线即可，灯丝电压高低可以先绕几匝测量电压，根据匝数，测量的电压和需要的电压（6.3V）就可以方便地算出6.3V的匝数。当然了，测量的电压是空载电压，计算最终匝数时，要按照6.7V左右计算，这样带上负载后就接近6.3V的电压了。最后接出引线，外表用胶带缠绕一层，小心地安装好变压器的上下夹板。实际上也可以使用E形的变压器，但是灯丝绕组的添加远远不如环形变压器来得方便。至此电源变压器的改造就完成了。

输出变压器是这个胆机的关键！我详细说一下输出变压器的挑选和改造。首先是变压器的挑选，变压器的挑选比较麻烦，要携带带有电感测量的万用表。变压器的功率选择不要小于8W，次级电压为6V和8V的，这样的变压器反射到初级阻抗为5kΩ左右，6V对应4Ω，9V对应8Ω。再就是要用万用表的电感挡测量初级的电感量，如图5所示，电感量不能小于15H。其次是看铁芯，一般为灰色，片厚为0.3mm左右的。通过上述挑选，这样的变压器一般都可以作为输出变压器。最后测量一下初级直流电阻，不大于400Ω即可。一般0.5mm厚的铁芯变压器，初级电感几乎没有大于10H的，只有这种灰色0.3mm厚的铁芯变压器初级电感才能达到15H以上。我在电子市场购买的10W的变压器8元一只，价格很合理。

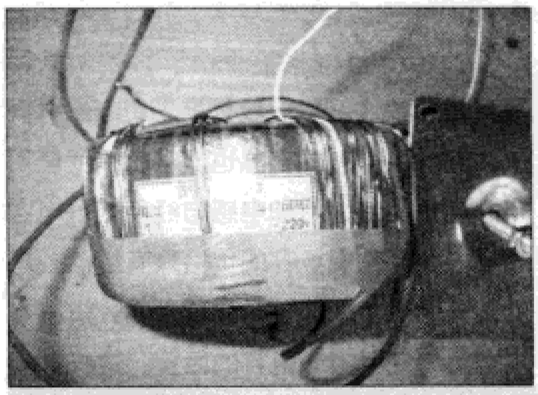


图3 电源变压器

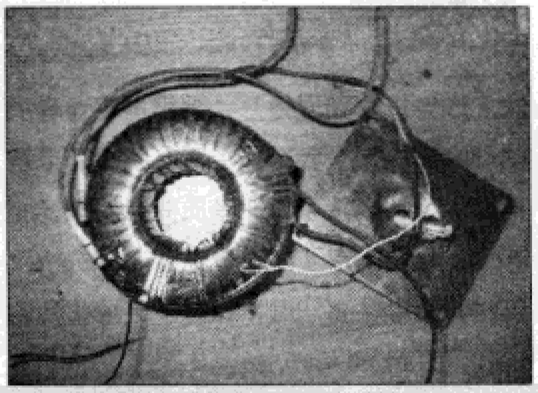


图4 电源变压器的改造

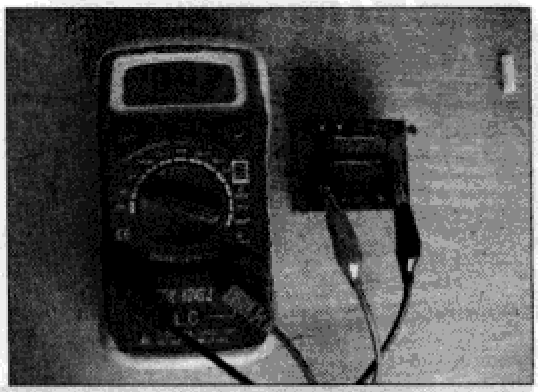


图5 用万用表测量初级的电感量

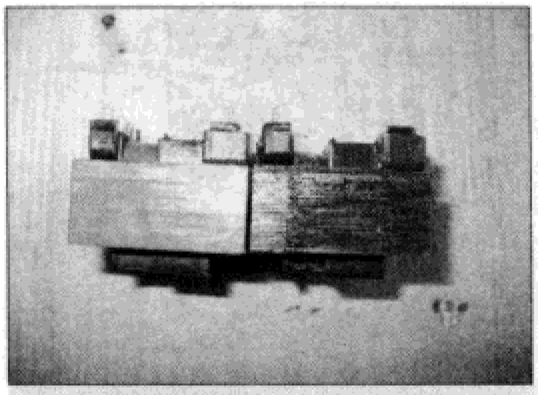


图6 变压器的改造

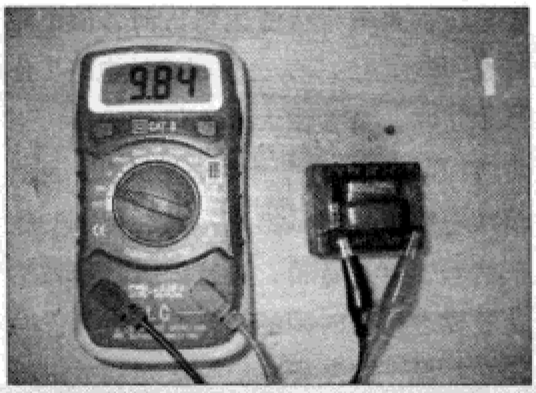


图7 将变压器维持在7～11H

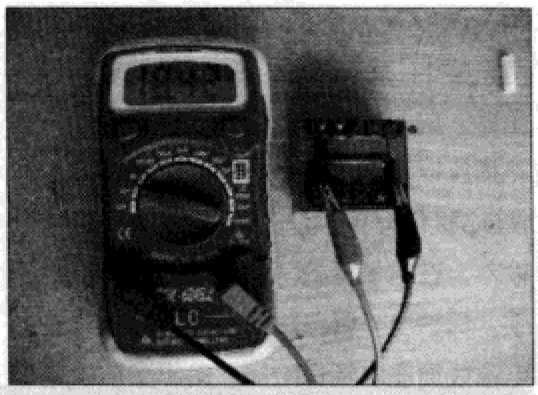


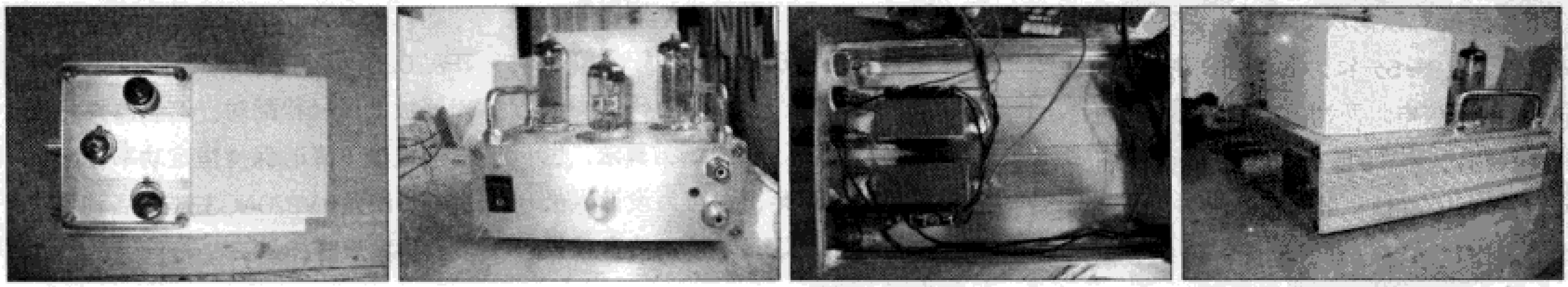
图8 电子管收音机里的6P1输出变压器初级电感

变压器的改造：这种变压器买来以后，不能直接用在胆机上，因为在初级要通过40～50mA的直流电流，为了防止铁芯的磁饱和，要让铁芯留出缝隙。也就是将铁芯I片和E片分别叠在一起，然后垫上0.2mm的纸作为缝隙，防止铁芯的磁饱和。拆除蓝色塑料纸的变压器是改造后的。将I片叠在一起，E片叠在一起，装到线圈中，在I片和E片之间垫0.2mm的纸，如图6右半部分所示，其中由于纸片裁减较短，以及浸泡绝缘漆，看得不太清楚了。变压器铁芯拆除，稍微麻烦一点，首先要将变压器加热到100～110℃，保持20分钟左右，然后带手套，用美工刀，剔出一两片I片，之后用美工刀，将E片周围与其他铁芯分离，最后用厚度与铁芯铁片厚度相当的铁片，冲E片的中心，这样就可以比较容易地取出第一片E片，接下来就比较容易了，上述工作都要趁热进行。取出的所有硅钢片，浸泡在去漆剂中30分钟以上（去漆剂在涂料市场很容易买到），除去每片上的绝缘漆。然后用汽油或者洗衣粉溶液，洗净硅钢片上的去漆剂，并仔细漂洗干净，充分晾干，这样就可以组装了。图6所示就是改造前（左）与改造后（右）的变压器。

将变压器铁芯组装完毕后，在平整的表面上，使用橡胶锤轻轻敲打，让铁芯整齐，然后垫上0.2mm厚的纸片。铁芯最外面的两侧，可以将E片对插，方便放置I片以及垫的纸片，最后再用橡胶锤仔细敲打，让铁芯整齐。然后用铁丝捆绑一下，再次对变压器加热，温度保持在100～110℃持续3～4小时，到时间后将变压器浸泡在绝缘漆中2小时左右，让变压器在绝缘漆中冷却到室温。把变压器捞起，沥干绝缘漆，晾在阴凉处24小时，这时要趁绝缘漆没有干透，再次在平整面上，用橡胶锤仔细敲打，并时不时地测量电感量，一般在7～11H即可。再将变压器晾5～7天后再次测量电感量，如果电感小于7H的话，再次敲打一次变压器，让电感量在规定的范围内。最后将所有改造完的变压器，再次浸泡一次绝缘漆，这次只需浸泡几分钟捞起，沥干绝缘漆，将变压器放在阴凉处自然风干3～5天，铁芯外面缠绕胶带，固定变压器铁芯。我对变压器进行改造后，电感量会下降，一般为7～11H，如图7所示。

这样的电感量也要远大于电子管收音机上的输出变压器。下面是电子管收音机里的6P1输出变压器，初级电感为3H左右。这样保证了输出变压器的低频频响的宽度了，使低频得到延伸。我对电子管收音机的输出变压器解剖过，没有采用三明治的方式绕制，仅仅在初级的外层绕次级绕组这样的结构，高音频响都可以延伸到8～9kHz，都可以满足要求了。电源变压器的结构与老式输出变压器结构类似，所以高音的延伸与电子管收音机的输出变压器相当。我将我改造的变压器，与电子管收音机输出变压器进行了对比，首先让人感觉到许多音乐的细节都得到体现，低音的力度有了极大的加强。听觉方面比我以前用电子管收音机的电源变压器以及输出变压器做的功放有了天壤之别。欣赏邓丽君的《但愿人长久》，她那吐气若兰的声音，让人陶醉。因为音乐渲染气氛的重要成分在低频部分，我这样改造的输出变压器，恰恰符合了这种特点，使音质得到了提升。

图9所示是此款功放的整体布局和结



(a) 俯视　(b) 平视　(c) 内部　(d) 后面

图9 功放的整体效果

构，图9（b）中最左面是6N2，其余是两只6P1，后面在白色罩子里的是电源变压器。前面板是电源开关、音量旋钮，莲花插座以及一个3.5mm的立体声插座，方便DC机信号以及MP3和电脑的音频信号输入。在电子管的两侧安装的是仪器的把手，保护电子管，后面是扬声器接线柱，电源线插座以及保险座。输出变压器是安装在机箱内部，如图9（c）所示，输出变压器的磁场轴线与电源变压器的磁场轴线垂直，这样输出变压器与电源变压器的磁场影响最小。

输出变压器初级的保护放电管和防止高频自激的电容，都安装在输出变压器的初级旁，如图10所示。放电管我选用了中间为公共极，两边分别是另外的极，这样正好对应了阳极的正极和两个输出变压器的屏极端。高压瓷片电容直接并联在输出变压器的初级上。这些是防止高频自激和输出变压器次级开路而损坏输出变压器。

电路调整

当电路焊接完毕后，用表测量阳极电源电容两端是否有短路。然后接通220V电源，测量阳极电源主滤波电容两端的电压，一般为290～310V，灯丝两端的电压为6.7V左右。再次检查电子管周围的电路是否有误，确认无误，插上电子管，在输出变压器的次级接上8Ω/10W的电阻，作为假负载。在假负载两端并联示波器的测试笔，接通电源，看示波器是否有波形输出，如果没有，说明电路不存在自激。如果产生自激，一般是电路布线的问题，接错也会发生自激现象，重新布线，仔细检查就可以解决问题。电路没有自激时，通电2～5分钟之后，分别测量6N2和6P1的阴极电阻两端的电压。6N2一般为1～1.5V，6P1的阴极电阻两端的电压为11～14V，在这样的阴极电压下，电子管的工作状态都正常。至此，给功放输入1kHz的音频信号，让信号伏值从0V开始逐渐增大，观察示波器上的波形，输出电压。当信号伏值达到1V时，假负载两端的电压为5～6V，这样功放电路工作基本正常。继续增大输入信号伏值，当超过1.5V就可以明显看到波形失真，至此功放电路安装调试结束。然后用MP3输入信号，接上音箱，进行试听。新做的功放要进行长时间的工作，看看有没有异常升温，以及异味。一般对功放进行10～20小时的煲机，接上假负载，输入0.8～1.2V的音频信号，在煲机过程中不能离开人，有异常随时可以关机。一般煲机后，这台胆机就能为你带来靓声的享受了。

我这台胆机最为突出的特点就是廉价靓声。我把我制作过程中的费用粗略统计一下（见附表）。通过这个胆机的制作，体验到DIY的乐趣以及Hi-Fi音质所带来的享受。这台胆机，完全可以满足20～30m²客厅听音乐的要求了。我本人居住楼房，照顾到邻居，一般音量只能开到一半多一点。音箱是自己用飞乐8英寸全频扬声器制作的迷宫式音箱，扬声器是标称8Ω，功率10W的全纸盆双盆扬声器。作为一个邓丽君的歌迷，这样的音响效果已经达到了我的要求。

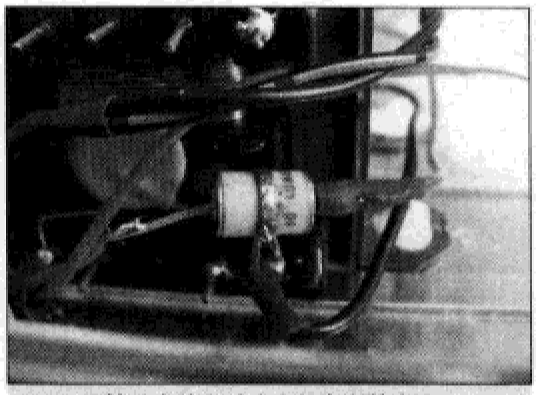


图10 保护放电管和防止高频自激的电容

附表

名称	数量	价格
电源变压器	1只	70元
输出变压器	1对	16元
机箱	190mm×145mm×50mm	35元
电子管		15元
其他电子原件，接插件开关电位器等		50元
总计		180多元

新品

德州仪器推出最高集成度音频编解码器

德州仪器（TI）推出一款具有嵌入式 miniDSP（Digital Signal Processing，数字信号处理）内核的业界最高集成度音频编解码器——TLV320AIC3262，可在宽带语音采样率高达16kHz的应用中抵消回声及噪声。该音频编解码器高度集成了5个放大器与2个miniDSP内核，可帮助设计人员同时连接3个器件，如应用、蓝牙（Bluetooth）以及基带处理器等。音频语音样片可在编解码器中无缝接收、混合与处理，且该编解码器同时配置TI音频语音算法及第三方算法，也可用于其他许可范围，可为设计人员在移动设备上创建多功能高清音频设计带来极大优势。

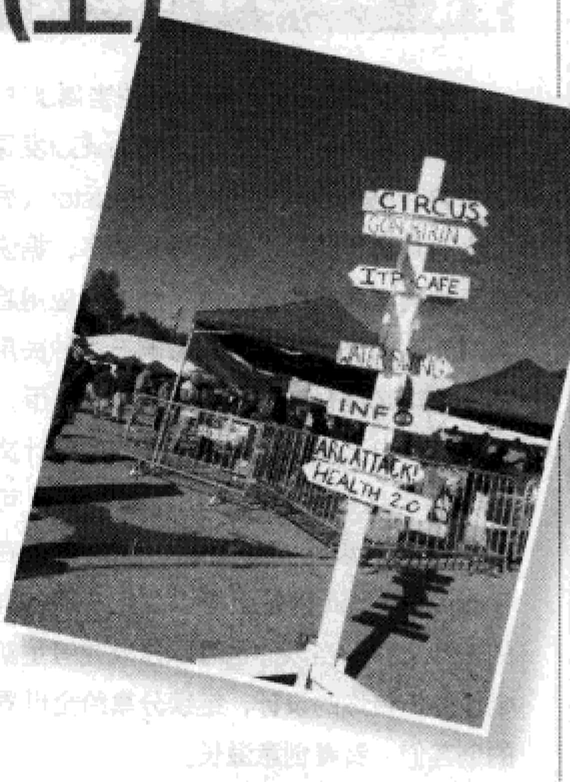
TLV320AIC3262可与TPA2015、TPA2025以及TPA2080等TI升压D类扬声器放大器轻松配对。这些器件可在电池电量下降时保持恒定功率输出，进一步增强TLV320AIC3262的各种算法及保护扬声器。

从Maker Faire到MIT（上）

◇潘昊

Maker Faire是一场欢庆DIY精神的盛会！你可以和全家一起参与，分享艺术、手工、科学、工程、食物、音乐等各种精彩作品，并了解其背后的有趣项目。这些聪明好奇、创意无限的人们，正积极而开放地创造着一个全新的创客文化！第一届Maker Faire于2006年在美国加州由Make杂志（中文版译名《爱上制作》）举办，在第5个年头已发展成整个周末的活动，超过700名创客参展，吸引超过70000名参观者，类似不同规模的聚会也在美国底特律、纽约，以及全世界各地陆续举办。

2011年9月，笔者全程参加了纽约的Maker Faire，并有幸拜访了美国麻省理工大学（MIT）的创客空间，一路的感受与触动，特成文与大家分享。



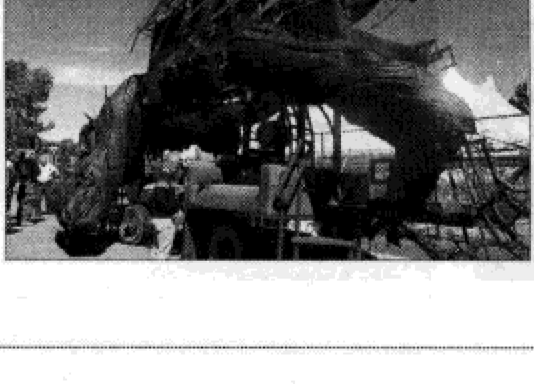
Maker Faire NYC 2011

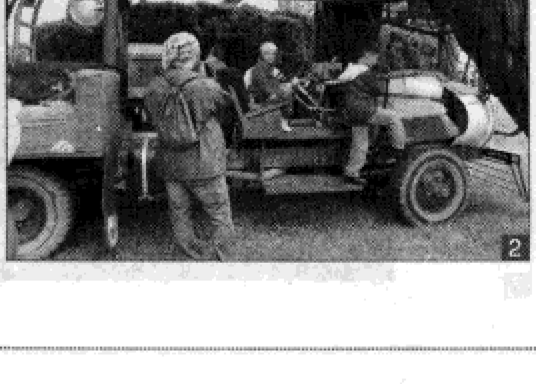
在2011年的Maker Faire NYC上，参展创客的水平和原创性都比去年有了很大的提升，我们整整逛了两天才勉强看完，只能匆匆要了许多展会资料，回头再深入了解。

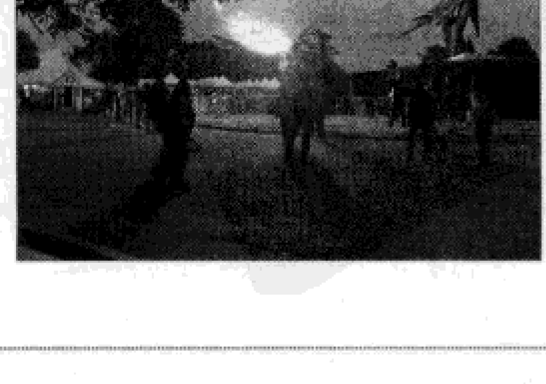
1 2 3 每届Maker Faire都会有一个标志性展品，这次的是一个从废旧物资站“复活”的巨龙：底座曾经是一台卡车，废钢材做骨架，轮胎做皮肉，旧船壳做背鳍，中间有通道可以爬上去，后面侧面有沙发可以坐满人，腰上挂着巨大的音箱和探照灯，通体可以发光，头部可以吐火，中文名字叫“光龙”！它是创客精神的极好写照：不需要昂贵的设备，也不仰仗高精尖的科技，利用随处可见的材料即可挥洒创意！

纽约的Maker Faire在科学会馆举办，在几个街区外就可以看到这里高耸的火箭。本来就充满科普装置的空间塞满创客后，就像一个爱丽丝仙境，走在其中会不经意地被古灵精怪的作品打动，或驻足赞叹创客们的精彩表演，或排在长长队伍中期待难得一见的另类美食！

Arc Attack是活动现场最盛大的演出之一，虽然加州也有演出舞台，但在纽约的这个演出舞台充分利用了科学会馆里的空间，一共两层，4个线圈，中间设一个“法拉第笼”，供舞者表演。除了一些和弦，主要的乐器就是电弧本身，通过不同频率的释放，发出各个音阶。现场的表演远比我们想象和描述的震撼，闪电随着音乐撕裂空气，发出耀眼的光芒，孩子们在场外惊叫，受邀进笼的观众们舞得忘我。这样的演出全天有好几场，每场大概一个小时，很多人会反复排队参加几遍方才尽兴。

1


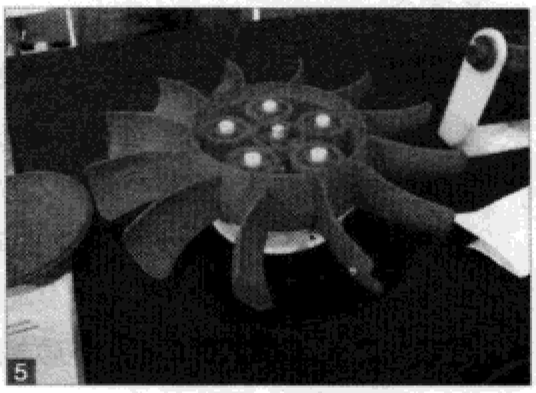

2

3


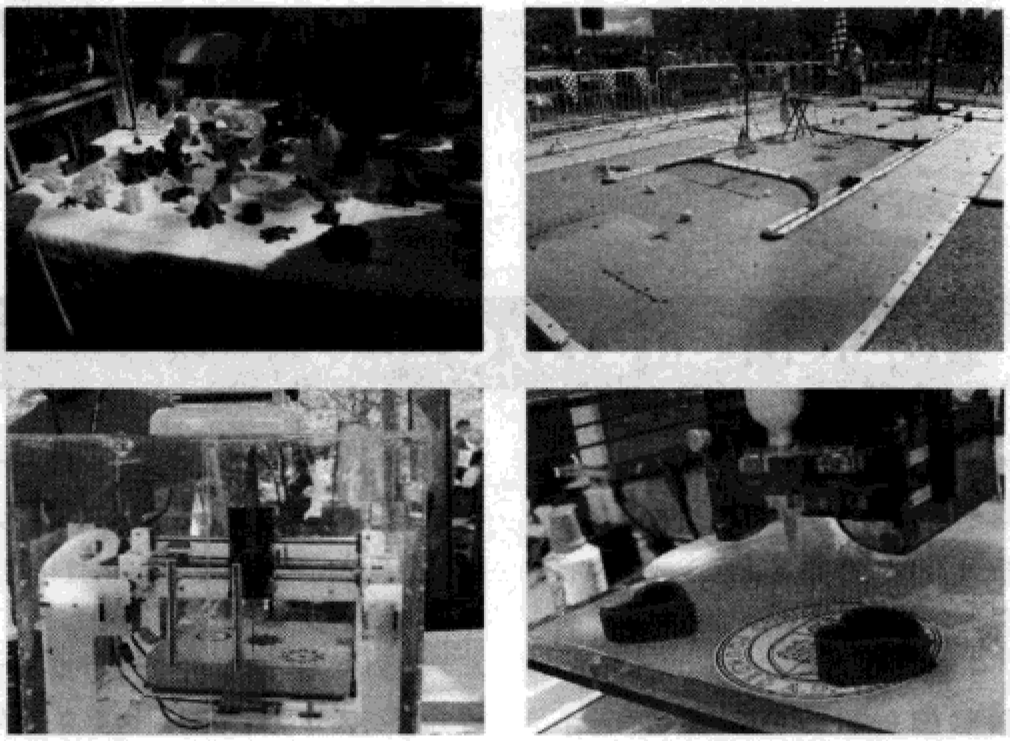
3D打印机及其他民用设备

4 这次展会上，最耀眼的当属3D打印机区，业内最出名的公司MakerBot发源于布鲁克林的创客空间NYC Resistor（后文会有拜访纪实），最近曝光颇多，据说甚至被美国政府约谈，以了解这个应用趋势对于美国经济和版权的影响。这种民用的3D打印机价格一般在几千元人民币，用户可以自己设计或者使用别人的设计文件，利用这台机器生产出物理物件，可以是雕塑、齿轮，甚至是一双拖鞋。在Thingiverse.com网站上可以找到各种各样的设计文件，当然你也可以修改或者重新创作并上传你的设计，继续分享给全世界的创客们，看着创意滋长。

4


5

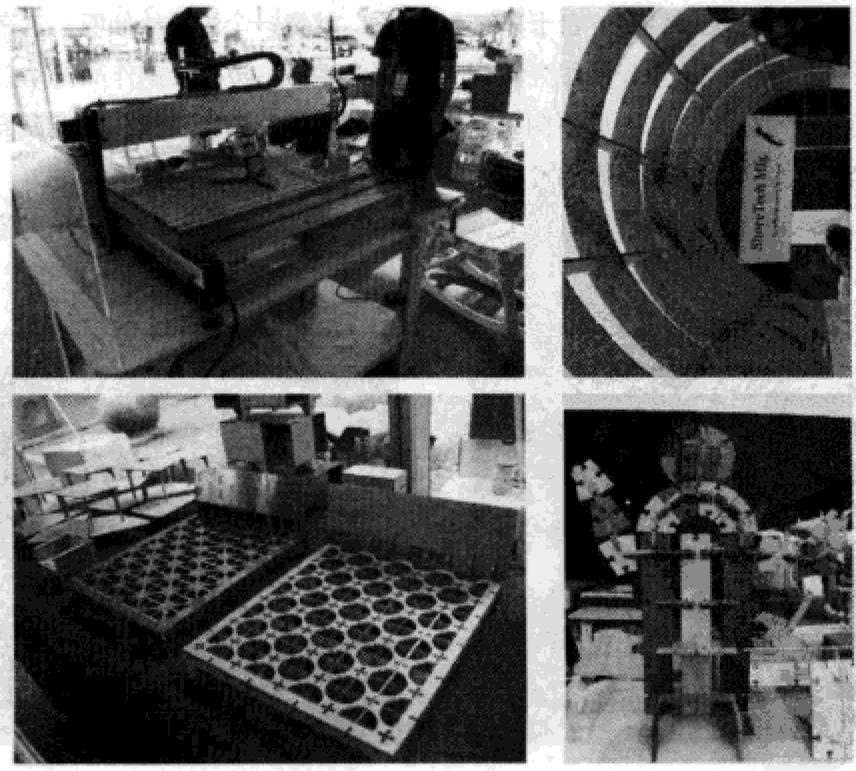
5 满场乱跑的遥控“马里奥飞乌龟”也是用MakerBot打印出来的外壳拼接而成，存在感超强。MakerBot别出心裁地在会场布置了一个赛道，用打印出来的小雕塑作为障碍物，乌龟们绕场一段时间后便会回到这个赛道，观众可以排队参加计时赛。


6

6 MakerBot本身源于一个开放源代码项目RepRap，创客们相互疯狂地参考、改进，生产出各种各样尺寸和精度的机器，包括可以打印蛋糕或者切泡沫板的异类！

7 传统的加工工具一直有一席之地，比如激光切割机和CNC雕刻机。Shopbot是桌面CNC雕刻机的代表产品，与3D打印机相比，更适合大型结构件（如木板）的切割。比如，自己加工一个床，搭建一个房间，或者制作一堆五颜六色的超大玩具。

这些加工设备与传统商用的3D打印机和CNC相比，精度和性能都要差很多，但丝毫不会影响大家作为业余造物主的兴致！或许正是这些简陋但亲民的发明，酝酿着新一波的工业化革命。


7

Arduino及其他电子项目

电子类的创客作品绝对是每次Maker Faire的重头戏，也是Geek文化的代表产物。

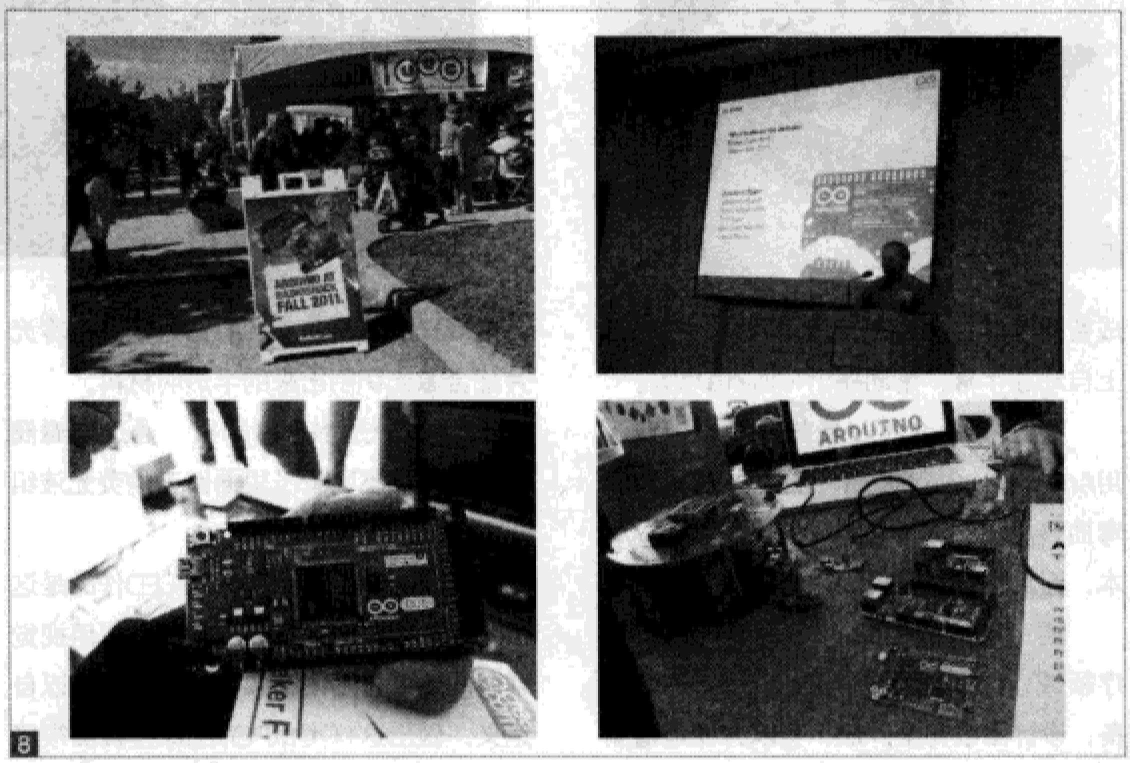
8 这次展会上，Arduino尤其抢眼。DIY电子元老级公司Radio shack宣布，2011年秋季将在全美4000多家零售店上架Arduino。Arduino Team也高调出场，发布了一系列Arduino产品，包括低端的Leonardo，到未来式的96MHz怪物DUE，以及新的IDE、机器人平台等。Arduino的核心开发团队成员Massimo还特别感谢了上海新车间创客开发的图形化编程环境Ardublock，首次肯定了来自中国的贡献，让现场的我有点Hold不住。

基于Arduino的项目越来越多，正是它降低了单片机应用的门槛，让普通爱好者和非电子背景的人群也能轻松地控制物理世界，这就促成了无数精彩的草根发明和跨界电子项目。Arduino的积极态度会影响到一部分第三方开源硬件产品，如Maple等，但这样会带来更好的用户体验，对于整个社区的建立也会有很大的推动作用，让我们拭目以待新的Arduino热潮！

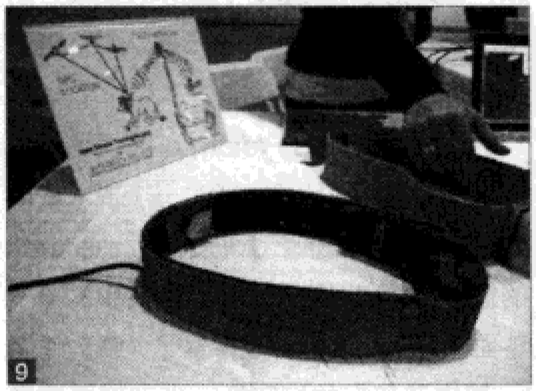
9 Ground Lab用Arduino做了很多公益和科学项目，包括这个用手机网络追踪狮子的项圈。厚厚的皮带里面有一个GPS和GPRS模块，当狮子移动的时候会触发加速度传感器，以一定的间隔将位置信息通过短信或者GPRS传给动物学家。

10 真的创客敢于拔草成剑。这个比萨盒子里的数字存储示波器是用废旧的零件在面包板上搭成的，显示器用的是一块旧手机的LCD，还支持SD卡。

11 当年破解XBox的黑客Bunnie成立了一家开源硬件公司叫Chumby，提供灵活小巧的桌面终端，开放API给开发者写自己的APP，不久前他们还为Sony定制了一款Dash平板电脑。他们这次带来的是一个HDMI中继设备，能把你的电视机变

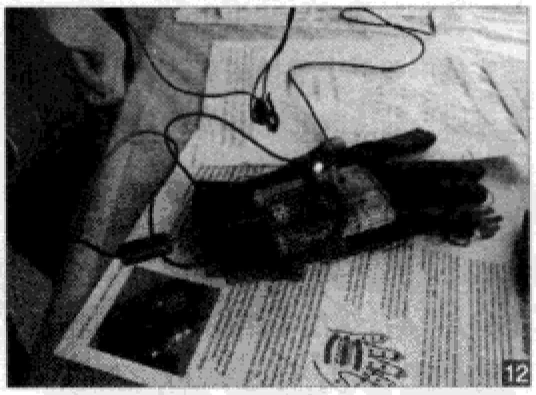


8

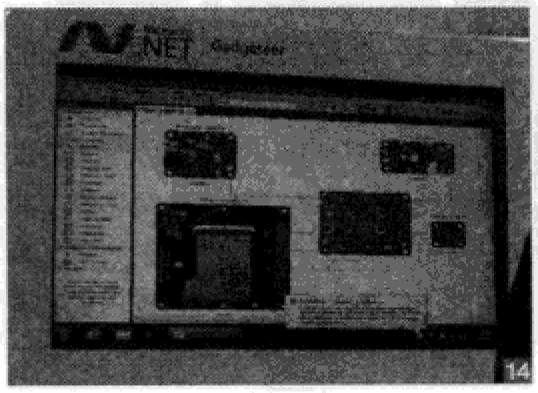

9

10

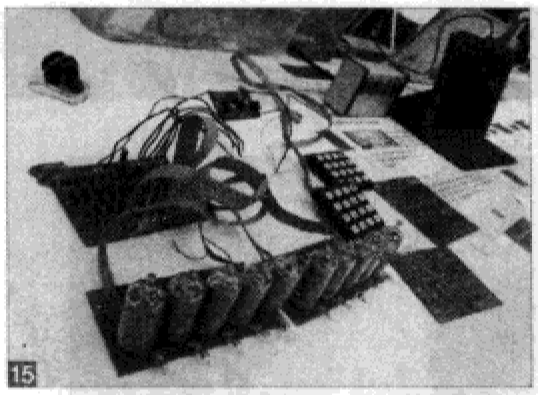
11


12

13



14


15

16

成智能终端，比如用来浏览网页，在屏幕上自动加字幕，滚动播出Twitter信息等。

12 体感手套不是新鲜东西，但自己用Arduino、面包板，再加上一些简单的弯曲传感器就可以做成便宜许多的DIY版本，而且接口和源代码完全开放。

13 开源的小型化产品也蔓延到了医疗领域，比如这个便携的EEG(脑电图)设备，设计图纸完全开放，可以方便地增删功能。

14 微软不甘寂寞，大踏步走上了开源之路。Kinect作为史上销售速度最快的设备，获得了官方提供的SDK支持。微软还推出了全新的开源模块化硬件平台Gadgteer，它基于.NET Micro Framework和Visual Studio/Visual C# Express，提供标准化的硬件接口和面向对象的软件接口。尤其对之前有.NET经验的软件开发者，只需要将用到的模块拖曳组合，便可以迅速完成中等以上规模的嵌入式项目，甚至可以自动生成3D打印机用的外壳设计文件。

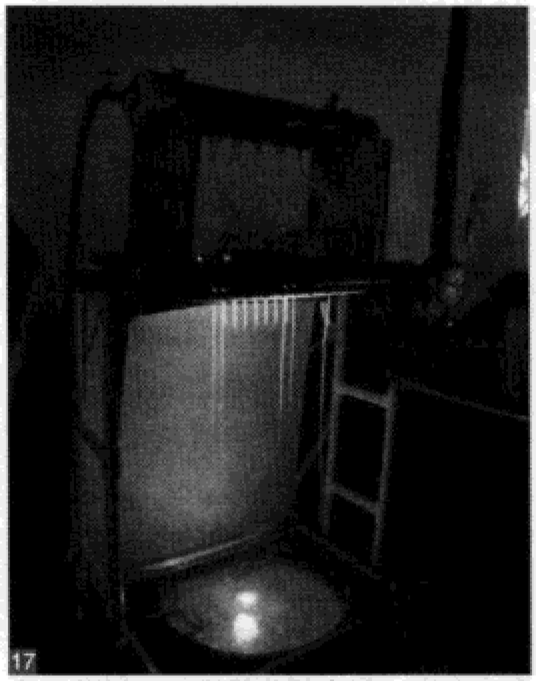
15 错不过的是怀旧。这是个用电子管搭起来的时钟，亮点在后面的控制板，全部用74系列门电路实现。在这样的“数电帝”面前，什么Arduino之类的简直弱爆了……

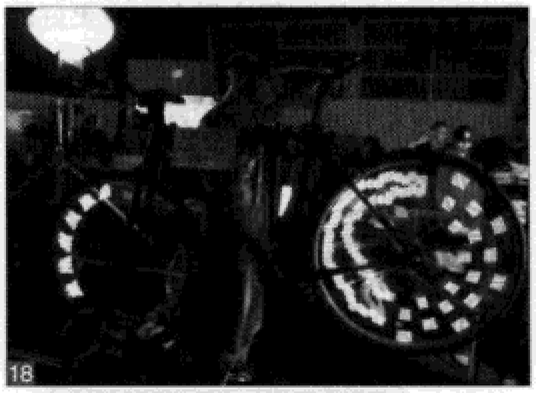
16 有一个大厅没有电灯，专门为LED和冷光项目准备。最漂亮的是这两个作品，左边的初看相当诡异，管子里面的发亮液体随着中间的光球搏动循环着，其实它是用荧光液配合LED做成的效果，柔和的光不是普通的LED可以表现出来的质感。右边的是一个哈达，上面的“咒符”也是同样的若隐若现，背后是闪烁的冷光片配合激光切割出来的半透明材料。

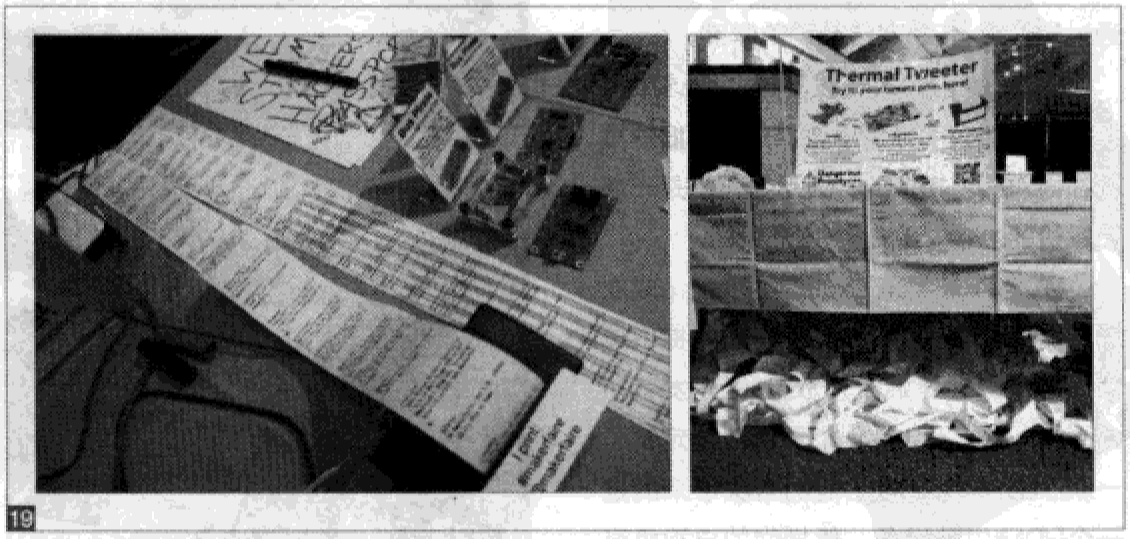
17 这个是水幕打印机，通过电磁阀的开断，让不同管子里面留下的荧光液组成图案或者字符。

18 最成功的商业化创客LED作品是这个Monkey Electric的自行车灯，利用视觉残留的效果做出图案和字符，并且可以自定义。做出这样类似POV的原型其实很简单，但是能够合理量产，防水、防震、防尘，以及通过各种安规和质量认证，就不是一日之功了。

19 Dangerous Prototype 在现场装了两台热敏网络打印机，通过一个嵌入式网络服务器抓取Twitter上面关于#makerfaire#的信息，并实时打印出来，图片中的桌子下面已经满满当当。走得累了，便向作者Ian要来了所有的打印纸，坐下来慢慢卷好。最近VPN不好使，打印了带回国。我们把其中几圈做在盒子里面，陈列在深圳柴火空间，大家有空可以去看看。


17


18



19

机械项目

在这些基本的机械作品之上，有一个巨大的群体，机器人制作者社区，毕竟让一堆物件动起来是相当有存在感的事情。

20 我个人心目中的最佳作品是这个载人六足机器，不仅仅是在于其完成度，而在于其唯一设计者是名大二的MIT（麻省理工大学）华裔女生Nancy，她在MIT的创客空间Miter里面制作的，不为比赛，也不是作业，仅仅是出于爱好。

21 这个黄色打鼓小机器人配有一对超声波“眼”，但用处不是避障而是寻找打击对象。它身上的3个舵机配以不同长度的鼓槌，敲打出不同的节拍，还能随着节奏前后舞动。

22 Robot GRRL 是一套相当有爱的机器人。图中这个说话酷似流行美剧《生活大爆炸》中Sheldon的女孩，用自己做的机器人替代了芭比，每个机器人都有自己的名字和特性，并且可以通过iPad等进行互动。

23 传统的两轮、四轮机器人其实不多，可能大家已经觉得缺乏新意。而上天下地的机器人才Hold住场面。比如这个OpenROV是一个水下机器人，用不太昂贵的材料实现中性浮力，可以实现100m的下潜深度，还配备了水下摄像机。下次去钓鱼，是不是可以先放个这样的“探子”，看看水下情况呢？

24 这是个用轻质材料做的超简单飞行器套件，只要能简单改变两个尾翼的角度就可以完成升降和拐弯，飞行效果相当不错，虽然会被风吹倒或打转，但抗摔能力超强，在有经验的人员操控下，能直接飞回手中。

25 拿着创客护照去NYC Resistor的摊位盖章，Adam正好在展示他的“巨慢盖戳机”，就两个电机，10个数字绕成一圈，一次一个字符沾上印泥挪回来盖戳，这是用亚克力材料简单切割而成的结构，

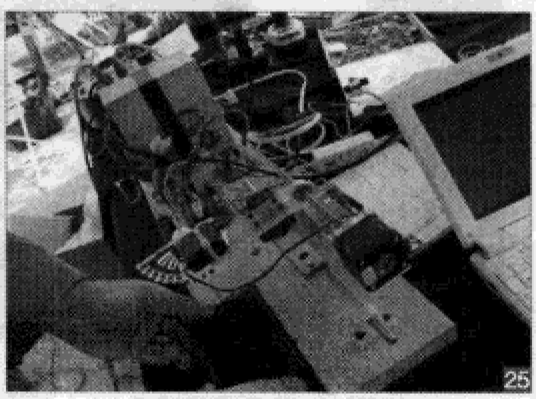
20

21

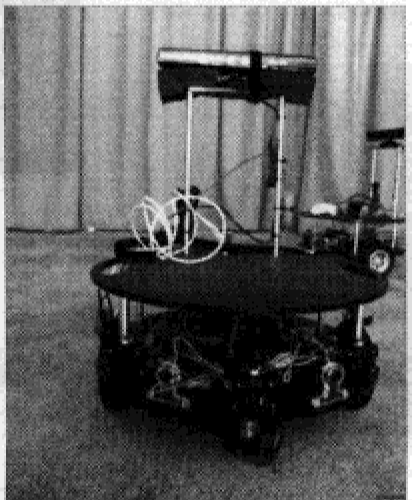
22

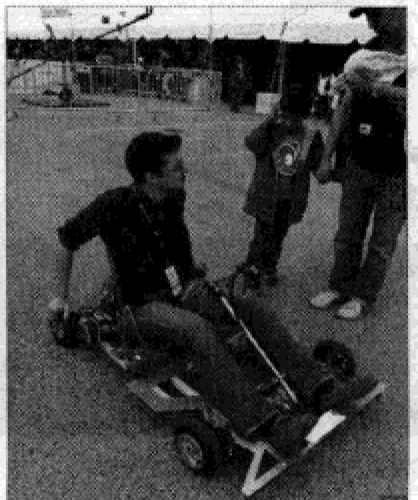
23

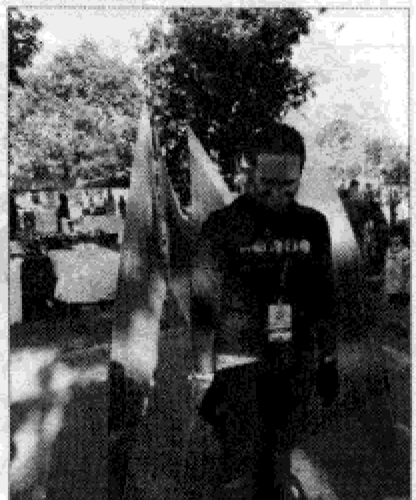
24


25

26


27


28


29

只用了手边的材料，花一天时间搞定。

26 一群高中生在老师的带领下只用了一天时间就做出了一个投石车，想在现场的演示，但因为投掷物飞得太远，而被主办方禁用。

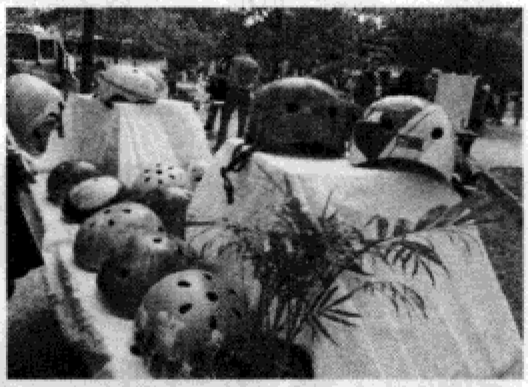
27 微软在活动现场的帐篷里面展示了这个和Parallax合作的机器人平台，机械结构与Roboticfans做的HCR机器人很类似，加上更多的传感器和一个Kinect（由微软开发的面向XBOX 360娱乐平台推出的新型体感设备，它让玩家不需要手持或踩踏控制器，而是使用语音指令或手势来操作XBOX 360 的系统界面）。值得关注的是，其配套的软件可以用Kinect扫描周边环境并建模来模拟运动。

28 同样来自Miter的电动滑板车，强悍之处在于这个电机/驱动轮完全是自己定制的，可以达到60km/h。由此可见，卡丁车什么的，大三学生完全可以自己做了！ 滑板什么的加上电动装置还不够，配个履带，实现全地形覆盖。

29 翅膀是Cosplay中永恒的话题，这位酷哥用金属做了一对可以控制的翅膀，引来了大群的围观者。

手工艺制作项目

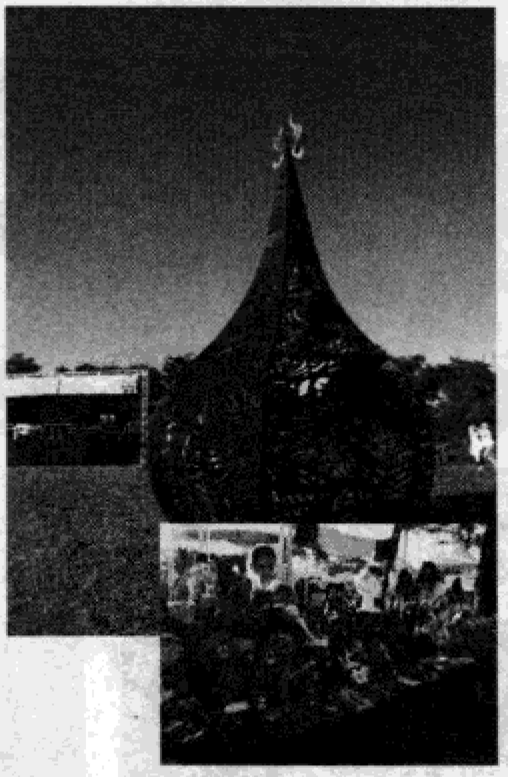
Maker Faire当然还包括各种各样的手工艺制作项目。



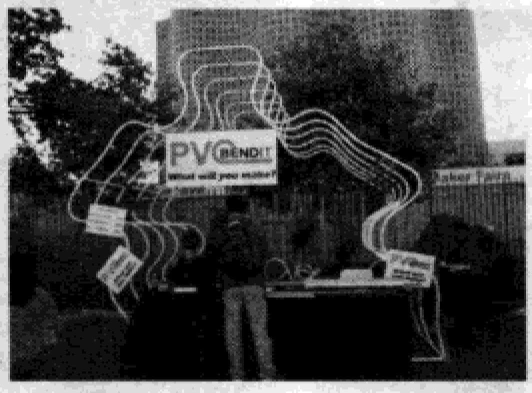
在自行车运动重新兴起的美国，头盔也能承载很多主张，或者用太阳能驱动缝纫机现场制作一些徽章。每一个作品都是手工打造，创客们享受这个过程，并出售这些绝对限量版。

服饰DIY展示是一个非常大的内容，尤其到万圣节或者大型Cosplay集会上有更多天马行空的创意，在这里也可见一斑。

周末自己用废旧材料发明个跳棋，或者做个首饰？



用钢板切割后折弯成这样具有奇幻风格的凉亭。香奈儿当年也是在自己家中开始DIY帽子的，这一堆布娃娃中有没有藏着未来的芭比？



肥皂也可以自己制作，随处可见的PVC管被热弯之后不也是雕塑吗？

（下文待续）

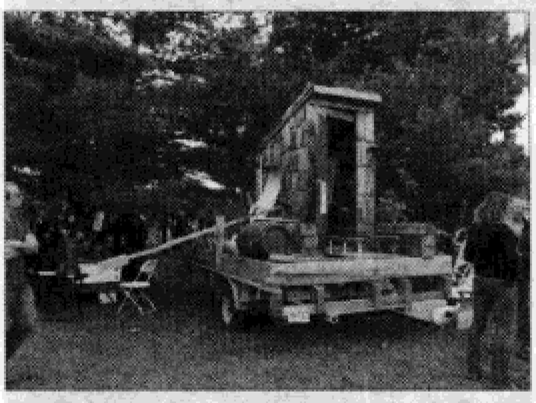
从Maker Faire到MIT（下）

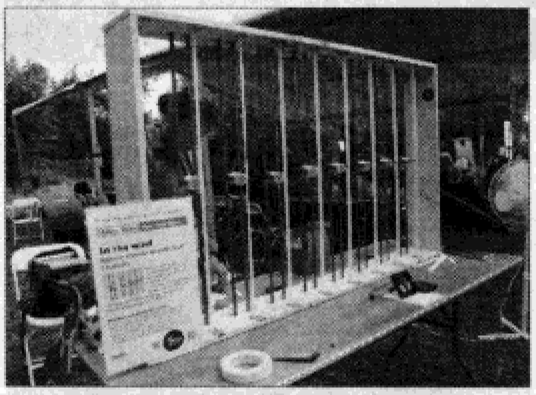
◇潘昊

请大家跟随笔者继续体验纽约Maker Faire的精彩，并探访纽约著名的NYC Resistor创客空间及美国麻省理工大学（MIT）的创客空间。

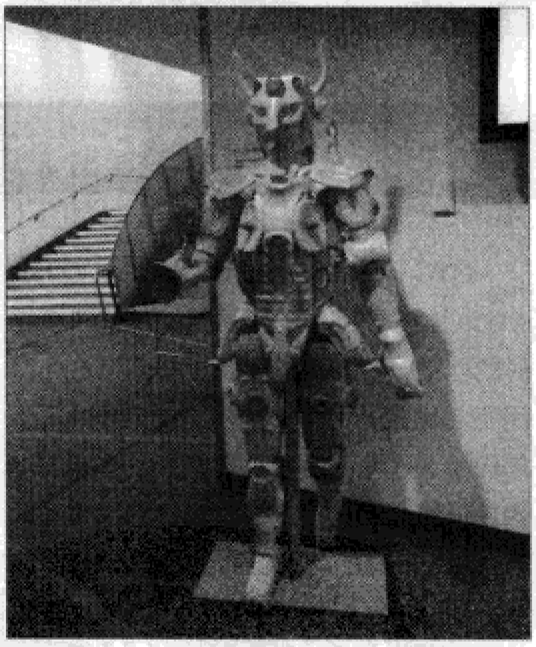
环保作品

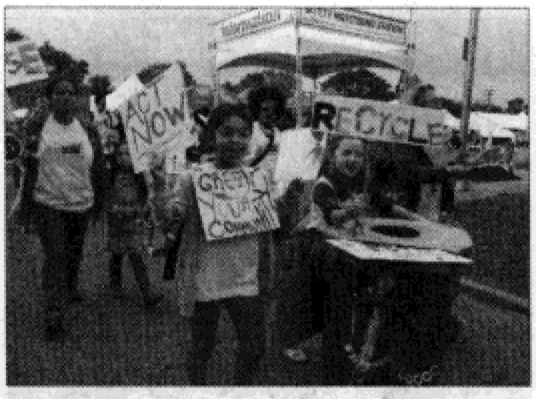
当我们已经习惯于过丰富的物质生活后，还记得父母用雪碧瓶剪成的塑料花，或用一分纸币叠出的纸菠萝吗？





DIY自降解厕所车，用人类废弃物生成沼气，并供养作物的拖车版解决方案。风能发电不一定要用叶片，振动的也可行！





没有场地种菜？试试无土栽培吧。环保更主要是一种主张，让更多的人意识到，并投入进来。

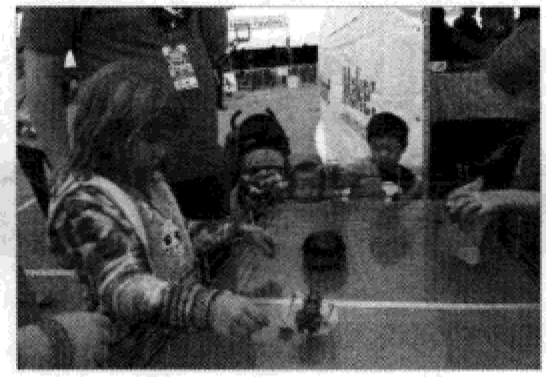
废弃的塑料瓶组合成这个绿色的雕塑，无关成本，用心而已。废弃的瓶盖呢？拼个象棋如何？

创客新生代

Maker Faire上，到处可以看到小孩子拿着用PVC做的吹管，源头是这个挖到第一桶金的小男孩。他只是简单地为吹筒加上一个弯折，便在现场卖到手软。也许用户自己才最清楚需求？小孩子真容易快乐……

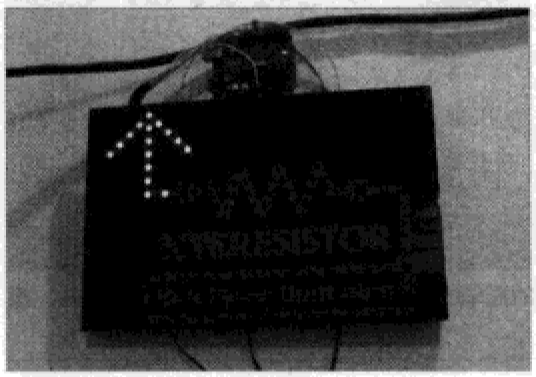
前些时候在TED上看到一个用粉、糖和盐放在一起做成电路的演讲。这里看到了真人和他的工作坊，不亦乐乎，先体会点亮一个LED的快乐，再去问为什么吧！

每次的1美元学焊接的活动都是爆棚，家长们带着孩子来这里体会焊接的快乐，克服对烙铁的恐惧之后，便可以轻松获得一枚闪闪发亮的胸章。



拜访NYC Resistor

NYC Resistor是纽约最著名的Hacker-space（创客空间），我们连夜坐了1个小时的地铁，在冷清的大街上找到了这个空间不起眼的入口。这是个20世纪七八十年代的老作坊，沿着狭窄破旧的楼梯向上攀登，便进入到这个像电影《黑客帝国》里面Zion一样简陋而温馨的地方。这里基本上没有什么装修，只是用创造装点了这个环境。一进门，头上便是一个竞技场般的指示牌，大家围了一圈，正在各自Hack些什么。一位创客在展示他自己的相机操作系统，等等！他把相机Hack成自己的PDA了…不过仅邀请爱好者加入，会员需要缴纳会费，但如果每周为创客空间授课（任何主题）两次以上，便可以获得半价折扣。空间的设备大部分来自捐赠，或是成员参加各种比赛赢回的，每周二是大扫除日，会员们会一起把杂乱的空间分门别类，重新整理。



用Arduino控制的LED指示牌

分门别类的元器件“仓库”

阅读角的图书是每个创客空间里不可或缺的

围着3D打印机热烈讨论的Hacker们

参观MIT兄弟会

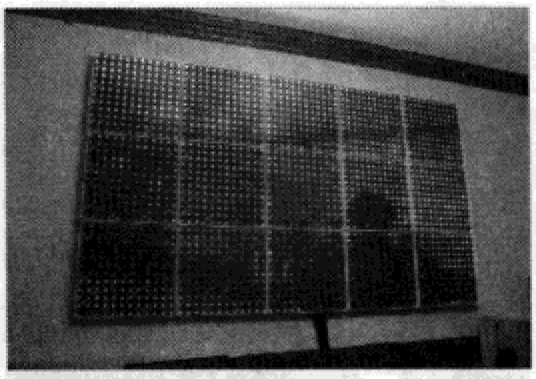
Maker Faire收场！临时决定第二天拜访MIT，于是便搭上Bilal的车，连夜赶往Boston，所见所闻完全颠覆了我对这个顶级学府的印象。

驱车4个小时，半夜到达Boston，住在MIT的兄弟会之一TEP。TEP的独特之处在于它基本上是由一群Hacker组成，整个兄弟会遍布各种出位的设计，比如巨大点阵屏做成的Time Machine，用刀叉做成的大吊灯等。每个房间都有自己的个性，有些屋内就有攀岩墙，有些还隐藏了个小酒窖，或者挂满不知道哪里搞来的街道路牌。真是难以用言语描述在TEP的所见，只是很想再有机会回到学校，相信和这群人待在一起，一定是很快乐的事。

每年TEP兄弟会都会有一张合影，沿着楼梯一直挂到屋顶，在阁楼里面翻出一张最古老的合影，是1956年的，不知道其中包含多少科学界、企业界的豪杰。

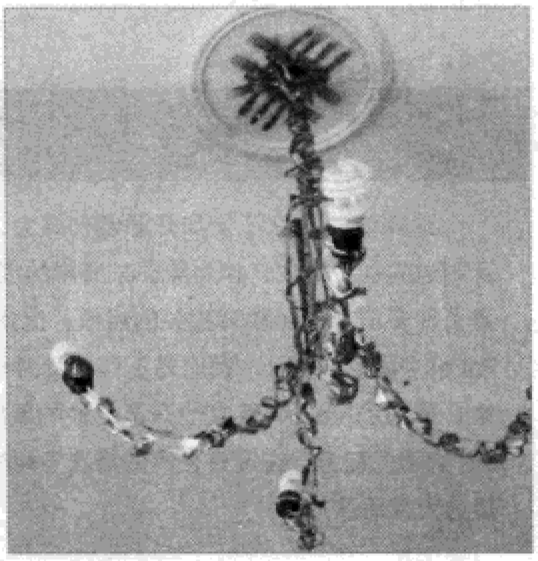
从TEP出来，我们去拜访了查理士河对面的MIT校区，走进宏伟的主楼，穿过Infinite走廊，绿草如茵和整洁典雅并未给我带来太大的触动。直到走进宿舍Senior House，我们再次被MIT同学的狂野和满溢的创意震撼。

Senior House一楼前厅很干净，像宾馆一样整洁，但一上二楼，仿佛进入幻境，满墙是各种风格的涂鸦，学生们还煞有介事地签上自己的大名。很多“画作”的水平非常专业，难以相信是理工系学生的作品。校方不会阻止学生装饰自己的宿舍，更不会强行抹去这些离经叛道的痕迹，于是学生们也越发不受拘束地表达自己的与众不同。忽然感觉，我们国内的名校能营造出不逊于MIT的环境，但扎根在这些宿舍里的创意氛围却不是轻易能够移植的。

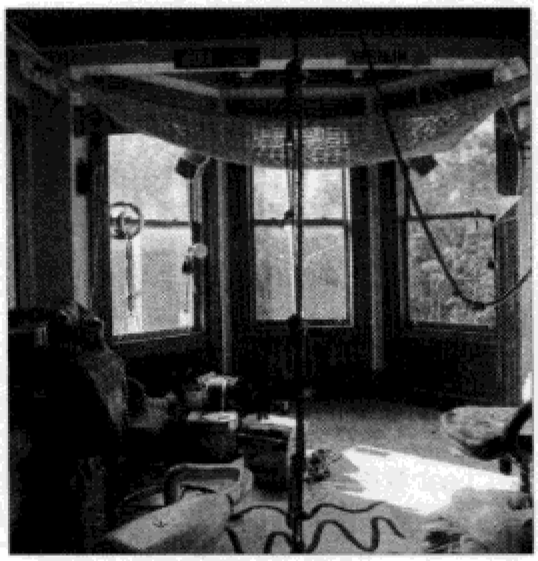


点阵屏做成的Time Machine

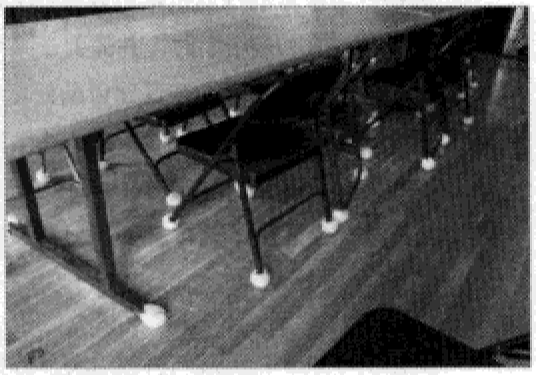
1956年的TEP兄弟会合影



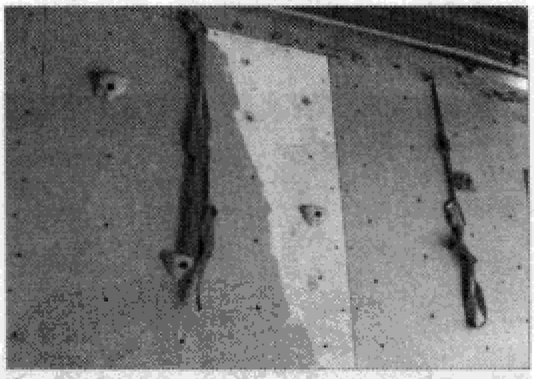
刀叉做成的大吊灯



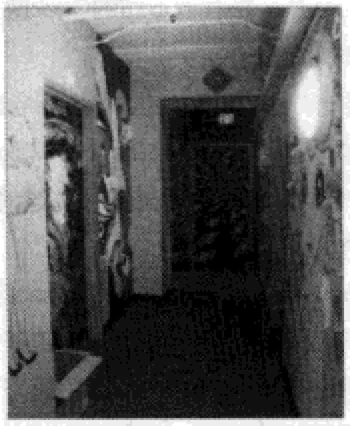
极具个性的房间陈设



废网球被做成了桌椅腿垫



屋内的攀岩墙



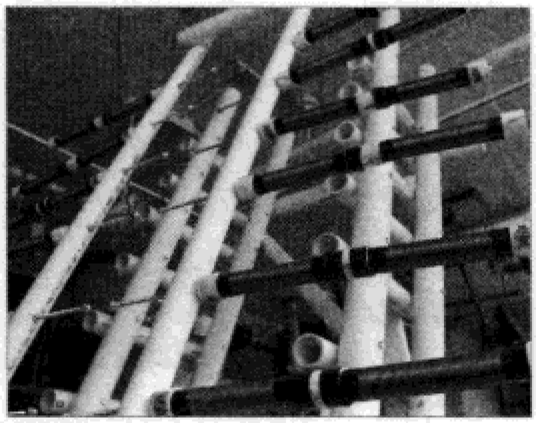
MIT宿舍楼里满墙是风格各异的涂鸦

MIT最出名的Hackerspace叫做Miters，是历史很悠久的一个创客俱乐部。不大的空间里面塞满了各种稀奇古怪的工具，零件和作品！学生们在这里可以自己从头制作电机，生成闪电，或者拆开隔壁实验室淘汰的隧道显微镜，看看里面有什么零件好用……上文提到的那个大二的华裔女生Nancy，独立完成了一个可以自己躺上去的6足机器人，控制着它在校园里游弋。

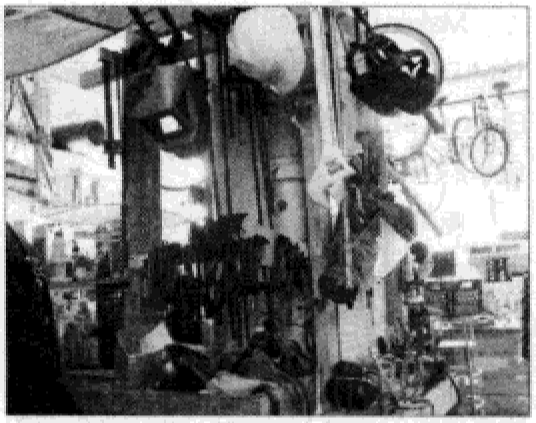
Miters虽然看上去简陋，但承载着最有创造力的学生团体，几十年传承下来的气场和知识一直在帮助自由的创意茁壮成长。

MIT最出名的实验室便是Media Lab。这是一个像苹果店一样的建筑，巨大的玻璃通透整洁，整层楼装饰着各种后现代的雕塑和互动装置。

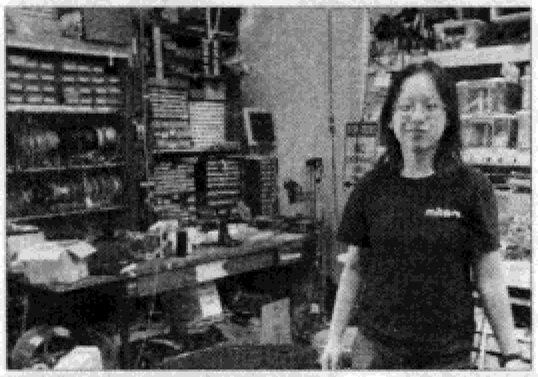
Leah教授的实验室叫High Low Tech，用高科技的手段来满足文化方面的创意需求。比如用这些纸质材料和电子肌肉做的一些装置：会自动收缩的纸、缝在窗帘上的电子元器件等。



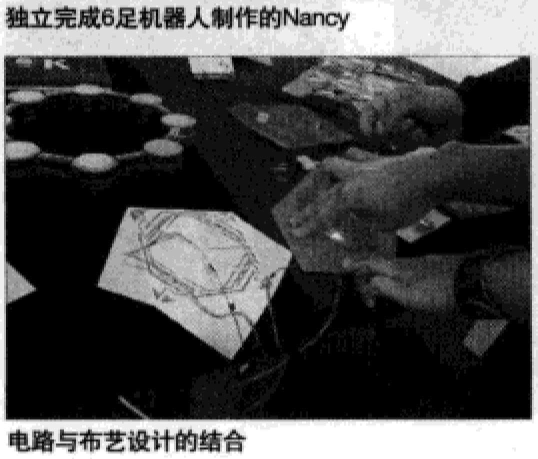
猜猜看，这是用PVC管做的什么



满墙稀奇古怪的工具



独立完成6足机器人制作的Nancy



电路与布艺设计的结合

Tips

这次访美，除了参加开源硬件峰会，我们还特地预留了时间好好拜访一下纽约以及周边的创客文化。作为美国东海岸的创客基地，纽约借助其得天独厚的多元文化，孕育了许多与艺术和教育相关的组织，比如MakerBot、LittleBits等。尽力克服参观Maker Faire的精疲力尽后，我们马不停蹄地拜访了NYC Resistor，在MOMA（现代艺术博物馆）逛到了Arduino及其他开源硬件的展出，并临时搭上便车去了Boston，“混迹”于MIT的学生宿舍，在没有预约的情况下闯进了Media Lab。以下是我们一些行程心得，希望为大家助益。

交通、食宿、费用

去纽约最便宜的往返机票可以买到5000人民币左右的，但是有可能要经历多个城市的中转，甚至持续20多个小时，并需要在某个机场过夜。通常的价格在7500人民币左右，最好提前预订。现在美国的签证比以前好申请了，费用大概在100美元。在纽约住宿较贵，宾馆一般在100～150美元一晚。唐人街有些私人小旅馆，也有50美元左右的房间。市内交通非常方便，不用租车；地铁24小时开放，2.5美元任坐。一天的餐费可以控制在20美元以内，尤其是在唐人街。这样算下来，4天左右的旅行大概10000~15000人民币即可搞定。

行程建议

美国的Maker Faire每年举办3次，分别在5月、7月、9月。纽约的Maker Faire通常是在9月。如果时间充裕的话，还可以先去Burning Man（9月初），然后一路游荡到纽约。除Maker Faire之外，推荐以下纽约Geek游览地。

时代广场和百老汇；

经华尔街拜访开源硬件生产商Adafruit（须预约）；

到布鲁克林参观NYC Resistor 和Maker Bot创客空间；

到现代艺术博物馆参观梵高、莫奈的传说中的作品，并了解开源硬件在艺术表现上发挥的独特作用；

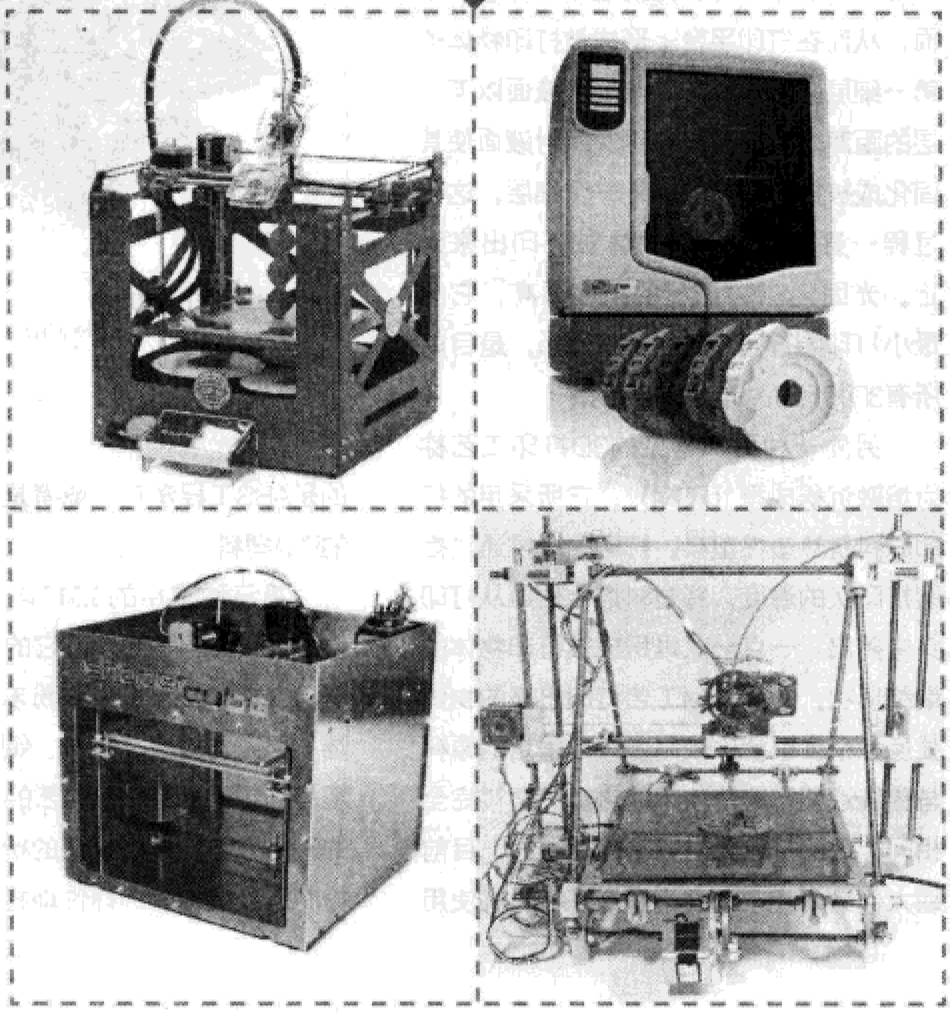
漫步High Line高地公园，到Chelsea区参观Eyebeam科技艺术中心；

骑自行车沿环曼哈顿的绿道一直骑到中央公园。

可提前和当地的Hackerspace联系！开放的纽约创客们会很乐意和来自东方的创客交流，并提供尽可能的帮助。记得带上你的创客护照，并至少保留几页空白。

神奇的3D打印

◇肖文鹏

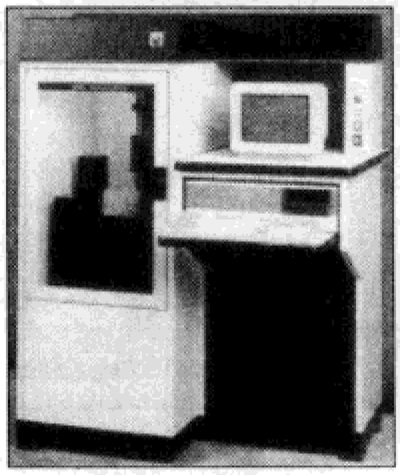


不知你是否有同样的苦恼，为了给你女朋友选一个合适的相框作为生日礼物，你几乎跑遍了大大小小的商场，却始终都找不到让自己非常满意的，在购物网站上找到的也差强人意。于是精疲力竭的你一边埋怨大工业生产所导致的个性泯灭，一边打算按下订购按钮来应付即将到来的生日晚宴。

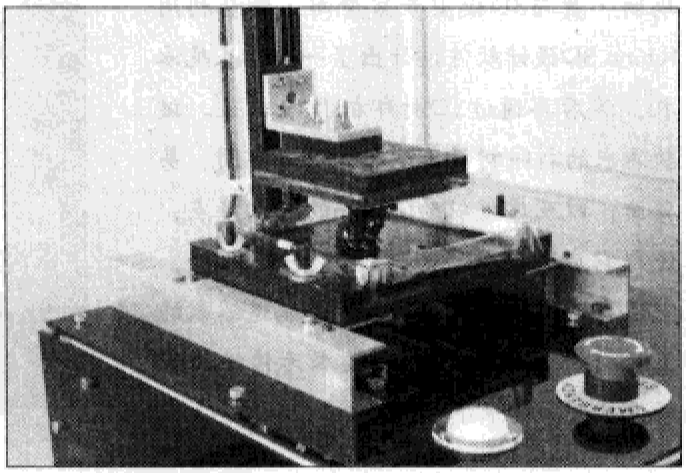
等等，为什么不尝试一下另外一种更酷的方式呢？首先打开浏览器登录到一个网站上，然后输入“相框”这一关键字进行搜索，结果看起来跟淘宝一样会给出一些相框的实物照片，同时旁边也还会有一个叫做“购买”的按钮，不过你从这个网站上买的可不是相框的实物，而是该相框所对应的三维设计图。某一款相框其实已经非常接近你的苛刻要求了，唯一需要修改的地方就是加上她所钟爱的动画人偶，这点小事可难不倒咱们，于是一个让你非常满意的作品很快就完成了。在按下“打印”按钮之后，桌子旁边的一台机器开始工作，没过多久一个与图纸一模一样的相框就被“打印”出来了！

这可不是什么天方夜谭，一种被称作3D打印的技术正在帮助我们将这一切变成现实。

什么是3D打印



世界上第一台商业3D打印机SLA 190
图片来源：http://www.turkcadcam.net/rapor/autofab/tech-light_curing-scanning.html

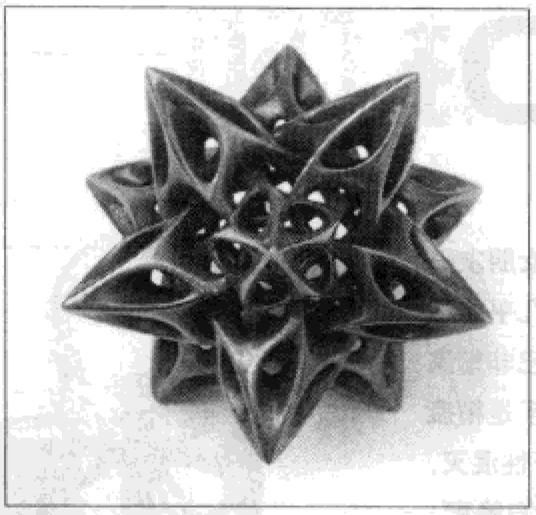


采用FDM工艺的3D打印机
图片来源：http://www.makerbot.com/blog/2010/10/21/homemade-high-resolution-3d-printer/

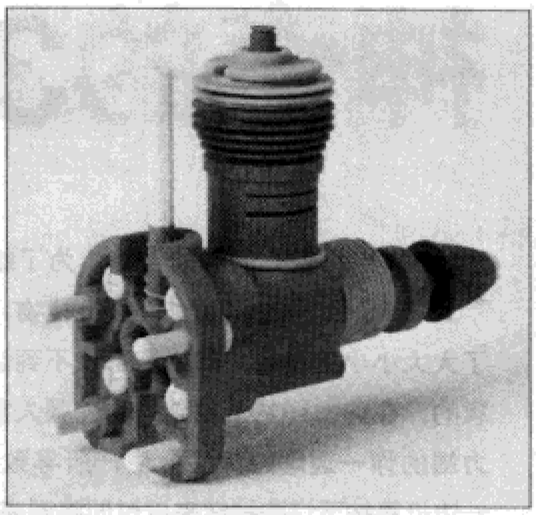
3D打印是一种增量式的制造技术，通常也被称作快速成型（Rapid Prototyping），它的工作原理和普通打印机非常类似，都是把打印原料装入到打印机上之后，再将打印机与计算机连接起来，通过计算机的精确控制，将原料一层一层堆积起来，最终将人们在计算机上设计的模型变成实物。

世界上第一台商业3D打印机是由查尔斯·赫尔在1984年发明的，采用的是一种被称作光固化（SLA）的工艺，其打印原料是液态的光敏聚合物，利用的是光敏

聚合物在经过紫外光线的照射后由液态变为固态的特性。这种打印机在工作时会在打印头的下面放一大桶液态的光敏聚合物，然后将一个打印平台正好放在液面的下面，之后再用紫外激光束照射液体表面，从而在打印平台上形成被打印物体的第一细层。随后打印平台沉入液面以下一层的距离，紫外激光束再次照射液面使其固化成被打印物体的另外一个细层，这一过程一直重复到整个物体被打印出来为止。光固化3D打印机的精度很高，它的最小打印层厚可以达到0.06mm，是目前所有3D打印机中精度最高的。



采用SLS工艺打印的成品
图片来源：http://honeybuild.com/guides/selective-laser-sintering/



采用MJM工艺打印的成品
图片来源：http://www.souersplastics.com/process-technology/3d-printing-technology

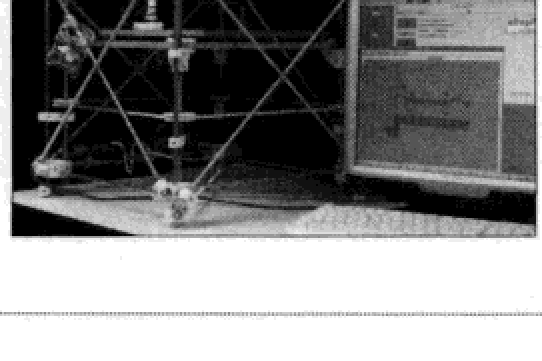
另外一种更加常见的3D打印工艺称为熔融沉积成型（FDM），它所采用的打印原料是热塑性塑料。打印的时候通过控制打印头的温度，将塑料熔化后再从打印头中挤出，一点一点堆积成被打印物体的最终形状。采用FDM工艺打印出来的物体强度和精度都会比较高，并且采用的原料与传统注塑行业所使用的热塑性塑料完全相同，因此打印耗材非常容易得到。目前绝大部分采用FDM工艺的3D 打印机使用的是ABS工程塑料，或者是可以生物降解的PLA塑料。

第三种常用的3D打印工艺称为选择性激光烧结（SLS），它的打印原料是被研磨得非常细小的各种粉末，例如聚苯乙烯、尼龙、玻璃、陶瓷、钢、钛、铝，甚至是纯银。采用SLS工艺的打印机在工作的时候先铺设一层极细的粉末，然后通过控制激光头，有选择性地将该层中的部分粉末融化凝结到一起，最后一层一层形成被打印的物体。

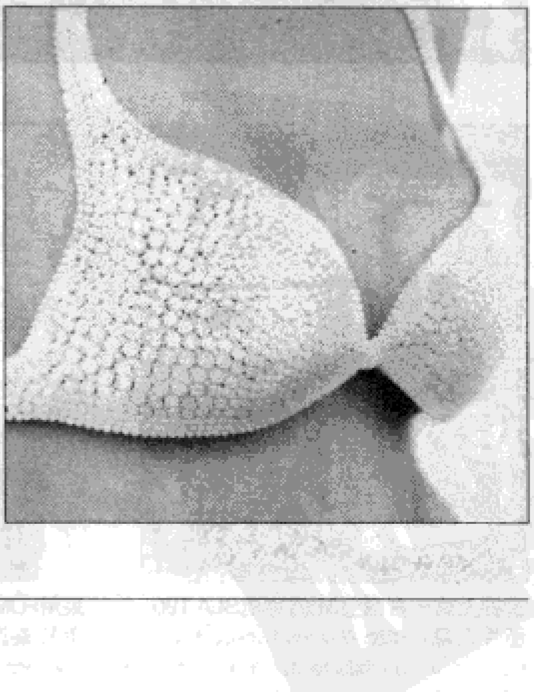
最后一种常用的3D打印工艺被称为多喷嘴喷射（MJM），这一工艺同样也采用粉末来打印所需要的物体，只不过它使用的不是激光而是胶水，用胶水将所需要的粉末粘结在一起。商业的MJM打印机可以在不同的喷嘴上使用不同颜色的粘结剂，从而打印出全彩的物体。

3D打印的[illegible]应用

虽然目前3D打印技术所支持的材料只包括塑料、树脂和金属等有限的几种，打印精度一般也只在1/10mm左右，但随着技术的成熟和成本的降低，3D打印技术正在进入快速传播期，慢慢进入人们生产和生活中的各个领域。



★我们的日常生活也可能因为3D打印的出现而变得有趣起来。时装设计师玛丽·黄与3D模型专家詹娜·费瑟利用Rhino 3D设计软件设计出了一款比基尼泳衣，然后再通过3D打印机打印出来。该款泳衣的打印材料为尼龙，有着牢固、易弯曲，以及厚度仅为0.7mm的纤细特点，使得它成为绝佳的3D打印材料。此外，它还有着卓越的防水功能，是制造泳衣的上好材料，显然3D打印技术为传统的服装设计领域带来了新的灵感。



3D打印机制作的泳衣
图片来源：http://www.11r.cn/post/12.html

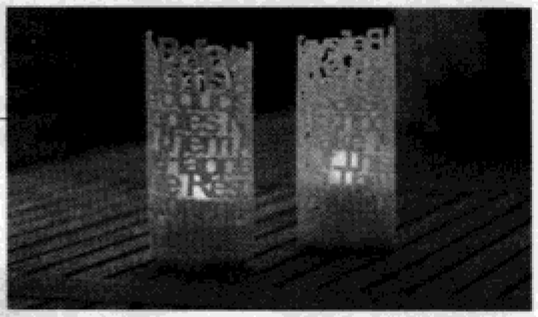
★英国南安普敦大学的工程师设计并放飞了世界上第一架3D打印出来的飞机，从而让飞机设计的经济学发生了革命性改变。这款无人驾驶飞机的名字为SULSA，采用了SLS工艺的3D打印机，整架飞机从设计到首航只用了短短几天的时间，而如果使用常规材料和制造技术，这一过程往往需要花上几个月时间。此外，飞机的任何部件如果需要完善都只需在电脑中进行修改，然后再重新打印就可以了，非常方便。

3D打印机制作的无人驾驶飞机
图片来源：http://www.ckds.org/archives/3583

★德国科学家则利用3D打印技术成功制作出了一种人造血管，该研究成果将应用于人体试验和药物测试，是3D打印技术在医疗领域应用的重大突破。该技术运用化合高分子材料结合能够有效抵抗排异反应的生物分子制作出了一种特殊的打印材料，其打印出来的物质经化学反应后能够形成一种有弹性的固体，从而能够根据人类血管构造将其制作成人造血管。

3D打印机制作的人造血管
图片来源：http://www.tecca.com/news/2011/09/16/3d-print-blood-vessels/

★此外，家居用品也将是3D打印技术大有可为的领域，它能够充分满足人们定制个性化装饰物的需求，比如下面这个用3D打印机制作出来的烛台。



3D打印机制作的烛台
图片来源：http://replicatorinc.com/blog/2008/11/10-things-3d-printers-can-do-now/

3D打印技术最突出的优点是无需机械加工或任何模具，就能直接从计算机图形数据中生成任何形状的零件，从而极大地缩短了产品的研制周期，提高了生产率并能够降低生产成本。这项技术目前正迅猛发展，已引起人们越来越广泛的重视。3D打印机不仅使得物品的造价降低，而且激发了人们的想象力，因此未来3D打印机的应用将会更加广泛。

3D打印技术作为一种高科技技术，综合应用了CAD/CAM技术、激光技术、光化学技术以及材料技术等，使得产品设计、建筑设计、工业设计、医疗用品设计等领域的设计者，可以第一时间方便轻松地获得实物模型，重新修正设计模型，从而节省了因为设计错误而导致的浪费，同时节省了研发时间。

随着技术的进步，现在3D打印技术在电影、动漫、气象、教育、外科医疗等领域都能发挥独特的作用。在教育领域，3D打印机能够将抽象的概念带入到现实世界，将学生的构思转变为他们可以捧在手中的真实立体模型，从而令教学更加生动，在建筑领域，3D打印机能够为曲面异形建筑的重要精密构件快速制作精确模型，提高建筑模型制作的工艺水平，在工业生产领域，3D打印机可以为金属铸件直接打印模型，在地理空间领域，3D打印机可以轻松将GIS数据转化为三维地形及城市景观模型或沙盘，而在娱乐艺术领域，3D打印机还可根据电子游戏、三维动画以及其他创作产生的三维数据轻松制作自定义头像和雕像。

但如果要将3D打印机像电脑一样应用到我们普通消费者的生活中，还存在一些具体的问题：首先是成本问题，目前商用3D打印机的价格都比较高，其次是打印材料问题，目前大多采用的化学聚合物如果真正融入我们的家庭生活，那么这种材料是否安全将会是一个很重要的参考因素，最后是打印精度的问题，如何能够以较低成本打印出非常精细的效果还是一个有待探索的问题。

不过我们还是期待，随着技术的不断进步，这些目前我们担心的问题都会迎刃而解，3D打印机在未来也许会像照相机、扫描仪一样进入千家万户，为我们的生活增添无穷乐趣。

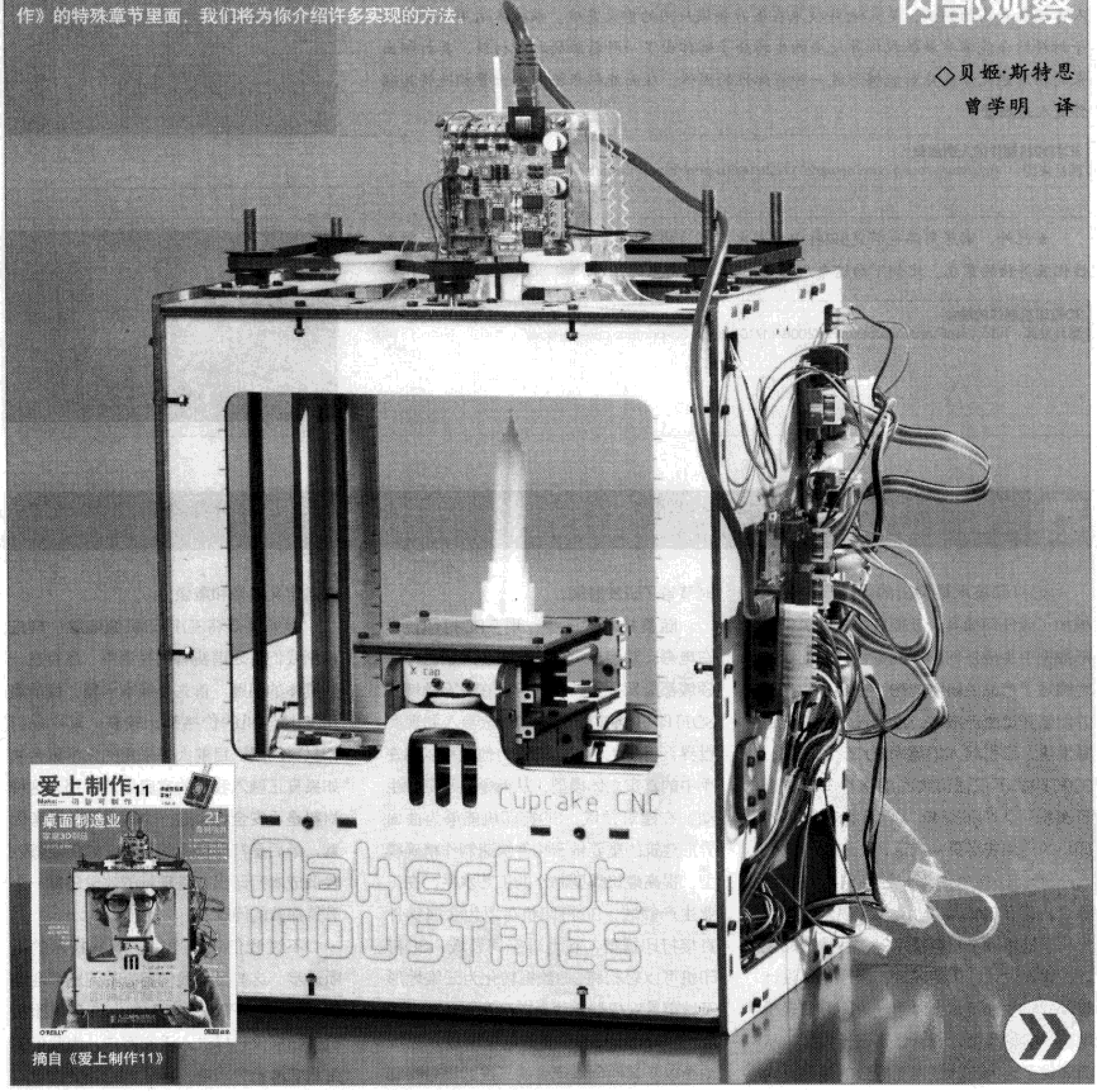
制作：桌面制造业

革命即将到来

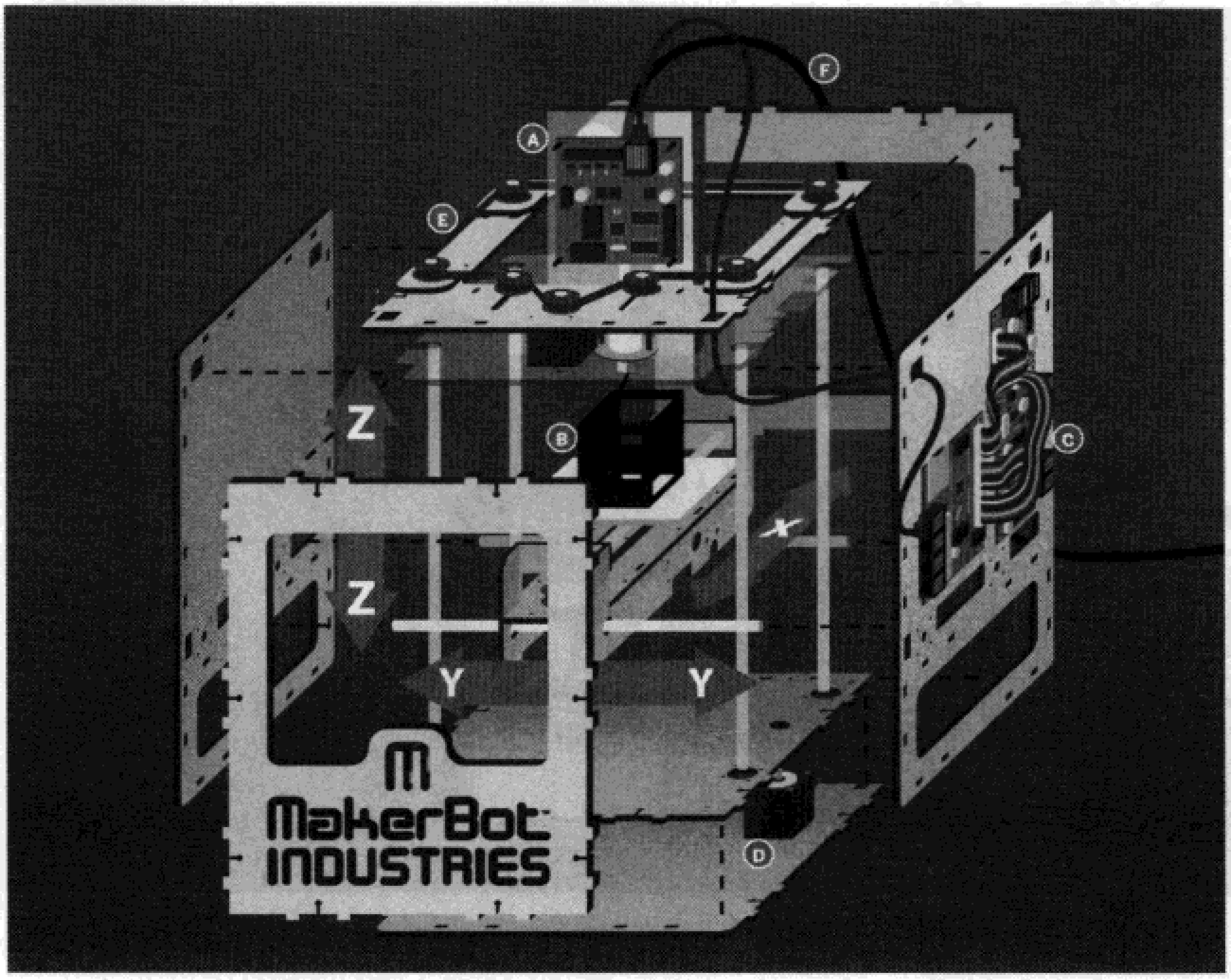
MakerBot工厂的内部观察

◇贝姬·斯特恩
曾学明 译

20世纪80年代末期，激光打印机对于家用来说已经不算贵了，这引领了一场桌面印刷系统的革命。20年后我们正在见证一场3D打印的小革命。在你的桌子上建起工厂的一部分如今已经成为可能。在《爱上制作》的特殊章节里面，我们将为你介绍许多实现的方法。



摘自《爱上制作11》



A 挤压机
B 要打印的物体
C 主板和电机控制器
D Y轴步进电机
E Z平面滑轮组
F 塑料线

“这是一台最原始的 3D 打印机。”当我们站在被称作“Bot Cave”面前的时候，布雷·佩蒂斯为我们解释道。这个仓库坐落在纽约市中心布鲁克林区，是 MakerBot 工厂的起源地，在这里启动了这个星球上每个人都想实现的台式 3D 打印机的梦想。黑客远远比红客多，Bot Cave 的工场里面装满了电子元器件、包装材料和样机。这个地方给人一种神秘的隐居住所的感觉，即便是停在仓库里的高科技超级英雄车也带着一个单速赛车把手。

这个刚刚起步的公司投身到以套件为基础的3D打印机的行业中，称它“快速成型”或者“无与伦比”都可以，3D打印融合了一系列技术，这些技术实现了虚拟3D和真实物体之间的转换。不像CNC铣床那样从一块材料开始进行切削制成成品，3D打印则需要用材料制作物体的每一层。

这种添加法加工通常可以通过两种途径实现：粉末床或者挤出。粉末床的方法是：刀架夹起一个选好的粘合物移到粉末床上做出一层材料，然后降低床的位置加工下一层。这个加工过程反复操作直到加工完成，最后从一大桶粉末中抬起来移开。挤出的方法是：刀架夹起一根热塑性细丝材料（一般用ABS塑料）挤出到一层里，冷却的时候就会变硬，制作成最后的成品。

大约一年前，扎克·霍肯·史密斯、亚当·迈耶和布里·佩蒂斯创建了MakerBot企业。关于这3个人，在纽约布鲁克林创客空间遇到他们的人都会知道，在过去的5年里，他们在DIY论坛十分活跃（佩蒂斯在过去几年里为本书英文版制作了许多视频）。

CupCakeCNC 的第一个原型，MakerBot的3D打印机旗舰产品及时地完工，赶上了2009年3月份奥斯丁的SXSW音乐、电影和技术展会。

佩蒂斯用周末的时间打印了塑料玻璃镜头，4个月时间3个人发了第一组20台机器到最初一批积极的客户手中，以答谢DIY论坛上积极的支持者和热情的网友。

侯肯、迈耶和佩蒂斯辞掉了他们的工作，靠着运营头10个月的积蓄生活。他们的朋友艾德里安.鲍耶（RepRap研究基金）和雅各布.罗德威克（Vimeo的创建者）为他们提供了创业资金，从此他们的事业开始稳步发展。一年后，批次规模已经从20台增长到150台，大约每月发货一次，最基本的套件定价750美元。

CNC纸杯技术与RepRap类似，是第一台开源3D打印机，特殊设计的它能够复制自身的零部件。CupCake使用了史密斯设计开发的RepRap主板。使用了自

A

CupCakeCNC比框架式快速成型机明显小很多——具有便携式的特点，人们可以拎着它去参加聚会

己的Sanguino微控平台，本身继承兼容Arduino。

在机器设计阶段，史密斯、迈耶35岁，佩蒂斯37岁，CupCake的原型部分是在NYC Resistor’s激光切割机上加工的。他们24小时连续工作，在第二单生意结束之后解决了所有设计问题。

和RepRap的刀架来回移动将塑料放置在固定的平台上不同，CupCake挤压机上下移动。边长10cm的正方形制造台在外侧移动，将挤压的塑料细丝根据要打印层的形状铺展开来。

CupCake CNC拥有最小功率和尺寸的固定刀架，比RepRap更加轻，比框架风格的快速成型机的跳动更小，因此携带更加方便。当CupCake打印的时候吱吱地、呼噜噜地叫着，同时机器里面特别设计的二极管闪闪发光，看着它就像是坐在篝火旁边一样。

MakerBot以套件形式销售，套件包括电机、皮带轮、线路板和激光切割的胶合板，自己可以动手组装。公司接受预定并且成组发送机器，用户在收到机器并组装使用后，一般会提出一些设计上的建议和改进意见。设计上的改进会在之后的机器中实现，并且给当前的客户进行机器升级。

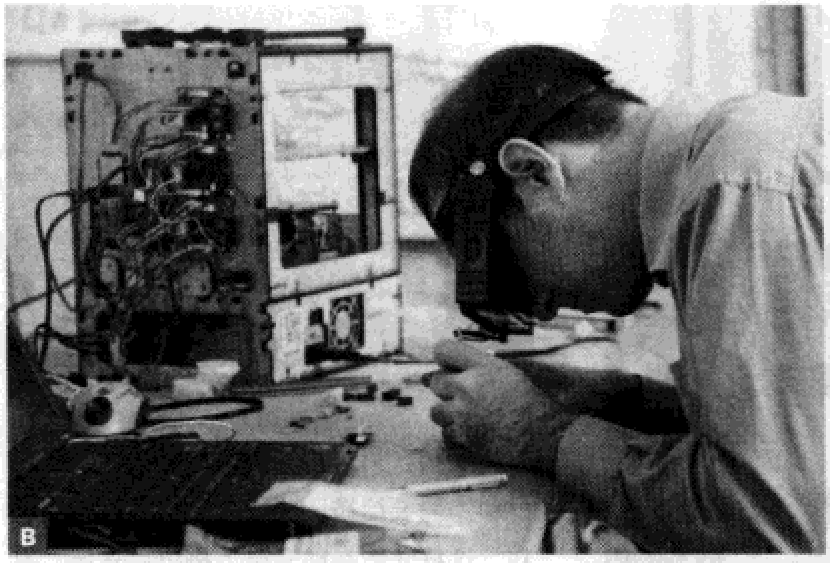
第一批机器要求客户将许多贴片芯片焊接到主板上。最新的CupCake带有焊好电子元器件的板子，使机器的组装容易了很多。机器的组装变得像宜家家具一样简单，只需要一个通用扳手就足够了。

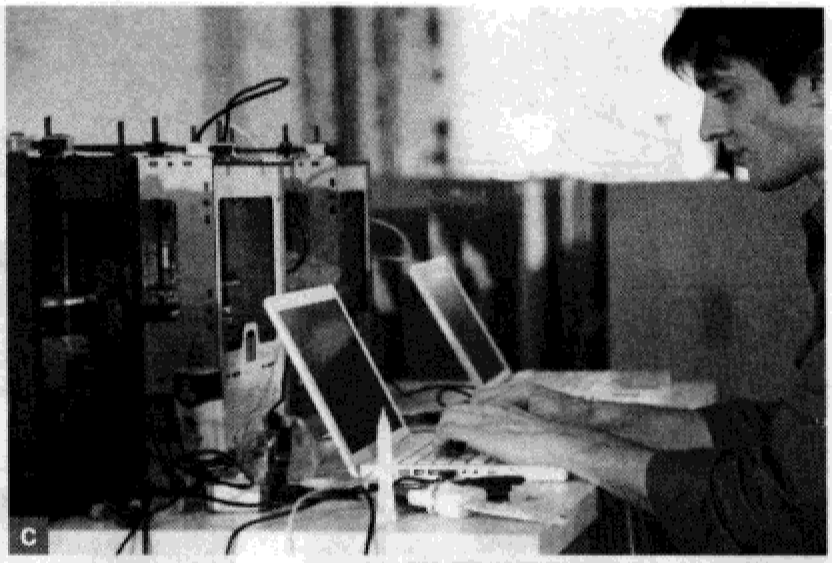
CupCakeCNC在这一领域属于首创。在引领硬件组装和热心自己动手的聪明的使用者方面，佩蒂斯非常自信地把它和早期的个人电脑Altair和苹果I代相比。早期使用封装在框架结构中的快速成型机受体积的限制只能在一些研究机构使用，现在做一个CupCakeCNC就可以将框架移到你的桌面上。

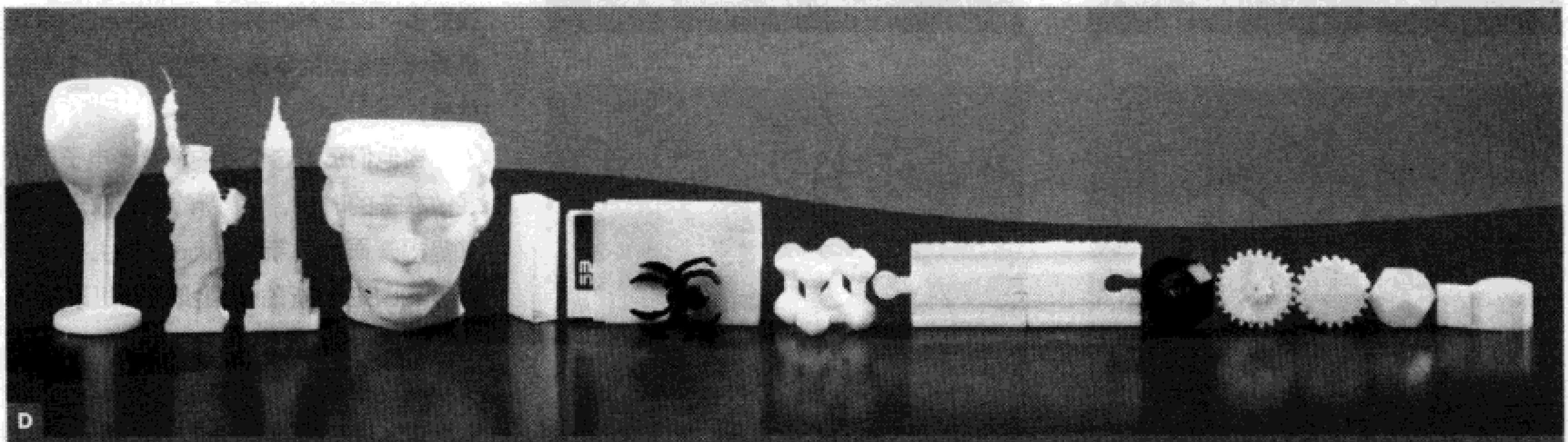
CupCake CNC可以加工的产品类型比传统的3D打印机要少一点，但模式却是完全不一样的。使用者所要了解的技术细节要深一些，但是成本也要低很多。

MakeBot的爱好者们通过谷歌和Flickr的群进行交流，互相帮助解决难题，使他们的机器运转更稳定。这种分布式的网络支持意味着3个创立者只需要直接回答很少的客户问题，但是他们也承认每天需要花几个小时回E-mail进行技术支持。

一个同时进行的项目——Thingiverse，


B


C


D

图A CupCake反复不断地进行设计
图B 新的CupCake的部件有时候能在一个CupCake上进行制造
图C CupCake能制作来自各种三维平台设计的模型
图D CupCake成品，广泛使用的乳白色和黑色

使 MakerBot 公司更加兴盛。2008 年夏天史密斯和佩蒂斯发起了一个分享激光切割源文件的网站，分享 3D 资源文件后，Thingiverse 的扩展变得更加容易。网站也用相同的流程设计过程，直接使用 CupCake 的设计。

Thingiverse允许使用者为一个“thing”创建一个页，上面记录了电脑可以读的切割或者打印文件、图片或者注释并能自动生成一些指令。使用者可以给自己的作品编上版本号、进行改进设计和发布原创产品的派生品。

世界各地的使用者都可以共享打印的模块。例如在德国，奥芬博格的阿革贴出了哨子的模型，纽约的使用者一个半小时后就拿到刚刚打印出的哨子了。当每一个产品的关于组装技术和未来修改的页面贴出来后，都会有很多相关的讨论，论坛的好处就在于大家一起解决问题。

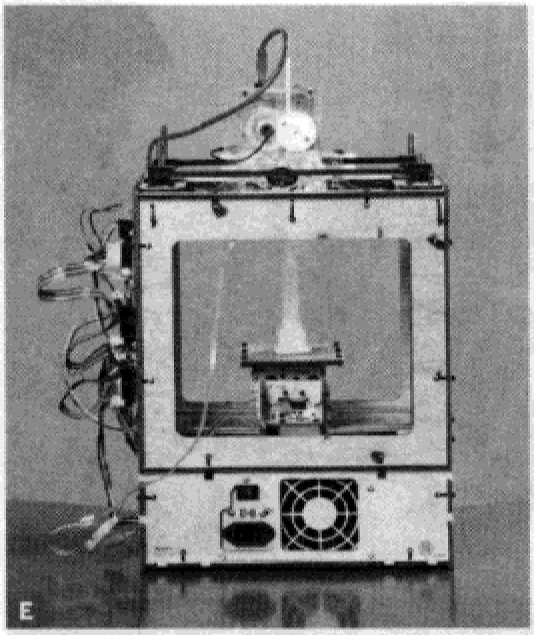
不同版本的CupCakeCNC套件非常适合已经拥有一些部件的人群的需要。如果你已经有一个激光切割机或者CNC刀架，你可以选择一个不带激光切割部分的套件，或者直接选择一个挤压机。机器的模块化和开放计划对那些喜欢动手的人来说非常有吸引力，他们以前经常被不友好的“黑匣子”技术关在门外。

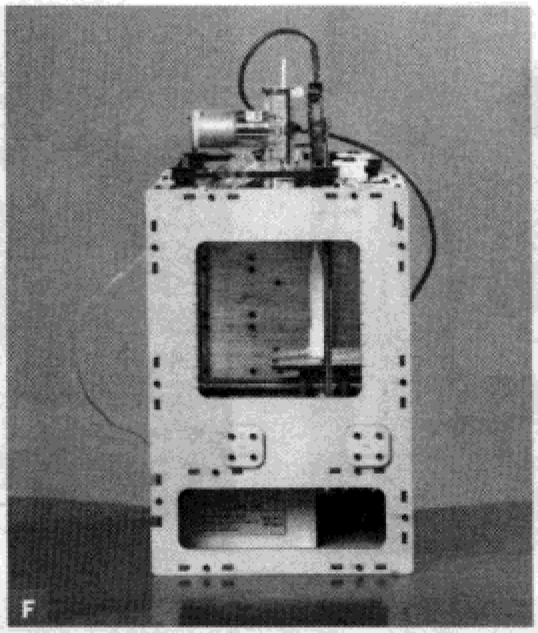
3D打印开放模块资源也是当前发展的趋势。在爱好者圈子里，标准的（昂贵的封闭资源）3D模型平台如Maya和SolidWorks也慢慢地放开了艺术处理和融合技术包。

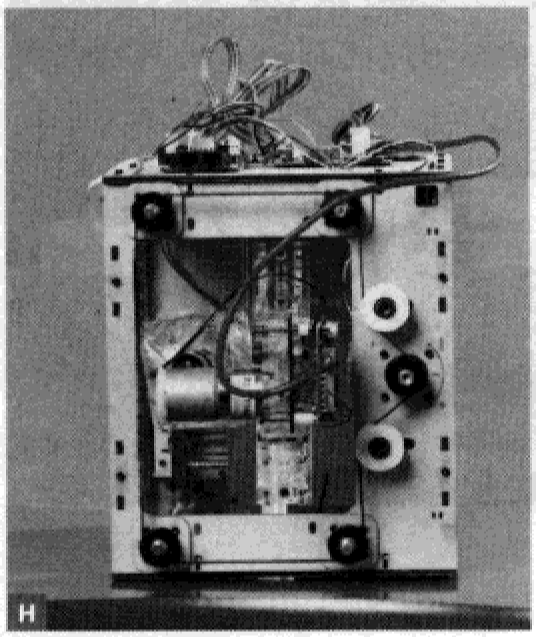
不要在意他们是如何建造他们的模型的，无论如何，大部分CupCake的使用者利用Skeinforge（一种蹩脚但是开放的Python脚本）将一个虚拟的物体转变为一套清晰的、一层层的指令发给塑料挤压机和移动的平台。然而其他的开放资源包，如ReplicatorG是发送一些刀具路径的指令给机器来进行打印。

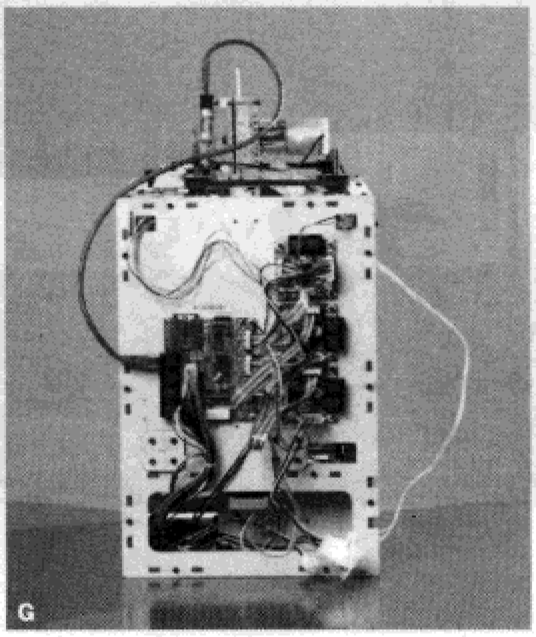
按照数学的规则用脚本对象来完全避免使用大型3D模型软件包是完全有可能的。这些指令或者“参数化”对象可以通过两种途径获取：脚本或者生成的STL文件（真实的标准数据传输格式）按照标准模型进行修改，或者生成G代码来控制刀架。

对CupCakeCNC进行改进的计划是漫长而令人振奋的。由于缺乏可以支持打印的材料，现在可以打印的东西是非常有限的。商用挤出式打印机有两种：一种主要









图E 部件最大尺寸为10cm×10cm×15cm
图F 用激光切割的6mm布里奇胶合板制作
图G 电子元器件包括步进电机驱动电路、主板、挤压控制器和光电挡块
图H 皮带和滑轮组推动挤压机在z轴上移动（从上面显示）
图I 布鲁克林总部

支持塑料，另一种支持其他能融化的金属材料。需要给挤压头一个空间放置一层塑料，这样才能在前一层上挤出后一层。寻找更多可以支持的材料对于MakerBot来说是要优先考虑的事情，但这也是一个大的挑战。

当他们正为这个月的消费者电子产品展做准备的时候，3个新的电子改进方案有望揭开面纱：新Arduino大型主板，支持板载USB和新的微型步进电机改进运动控制。

制作者论坛的其他成员也加入了进来。查尔斯·派克斯，一个NYC Resistor成员，正研究一个传送带用于运送CupCake加工后的成品，这一研究将有助于打印的自动化过程。“我想要一个桌面工厂，”他说，“但是我并不想成为这个工厂的工人。”

然而MakerBot的目标并没有停留在CupCake上。他们已经计划研发桌面3D扫描仪，它将和CupCake CNC打印机配套创建一个类似清洗/甩干的DIY组合（详见《爱上制作11》第40页安德鲁·刘易斯的SplineScan系统）。

他们也正致力于研究使用PLA材料，PLA材料是一种以玉米为基础的生物降解塑料。最重要的是，这个挤压器能使用蛋糕霜糖代替塑料。霜糖挤压器的样机目前正在进行第二次修改，真正的CNC蛋糕的时代很快就会到来。

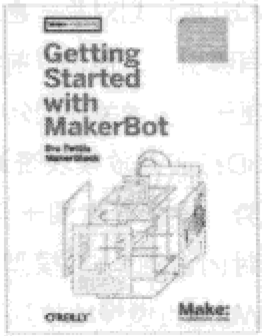
MakerBot网址：makerbot.com

Thingiverse网址：thingiverse.com

马克·德·温克制作CupCake的详尽描述见：makezine.com/go/cupcakecnc

MakerBot 参数

外形尺寸：42cm高×33cm宽×24cm深
重量：4.76kg
加工容积：10cm×10cm×13cm
可打印材料：ABS、HDPL和PLA塑料
材料强度：很结实，你能站到一个打印出来的作品上而作品本身不会损坏
层厚：0.375mm
打印速度：30mm/s
控制软件：ReplicatorG（免费的开源软件）



爱上MakerBot
英文版3月出版
中文版随后上市

2012年春季IIC深圳展特别报道

◇丰硕

第十八届国际集成电路研讨会暨展览会（IIC）于2012年2月23-25日，在深圳会展中心举行，两百多家知名集成电路厂商展出了各自的最新技术和产品，厂商代表与现场观众进行了技术交流。同期，还举行了系列专家论坛和趣味产品拆解活动，观众参与互动的热情很高。

让笔者的镜头带大家近距离去仔细看一下各个展台吧

美国飞兆半导体公司（Fairchild Semiconductor）为功率及便携设备提供高能效、易于应用及高增值的半导体解决方案。许多电脑史学家都认为，要想了解美国硅谷的发展史，就必须了解飞兆半导体公司。这家公司，曾经是世界上最大、最富创新精神和最令人振奋的半导体生产企业，为硅谷的成长奠定了坚实的基础。更重要的是，这家公司还为硅谷孕育了成千上万的技术人才和管理人才，它不愧是电子、电脑业界的“西点军校”。一批又一批精英人才从这里出走和创业，书写了硅谷一段辉煌的历史，然而，正因为人才的大量流失，也造成了这家公司历经坎坷的商海沉浮。

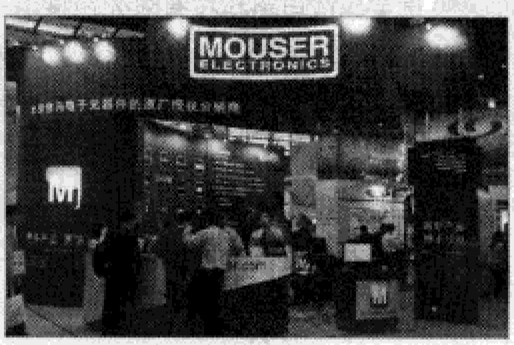
展会上，飞兆半导体推出了最新的数字电源系统。什么是数字电源？数字电源就是数字化控制的电源产品，它能提供管理和监控功能，并延伸到对整个回路的控制。

飞兆半导体的高功率因数LED照明驱动器

飞兆半导体推出了最新的数字电源系统

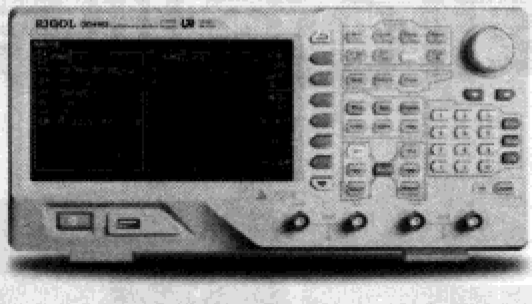
Mouser Electronics，作为沃伦·巴菲特的波克夏哈萨威企业家族中的一员，是一流的授权半导体和电子元件分销商，此次展会他们带来了以客户需求为中心的专业客服团队，让设计工程师实时体验了如何更快发现下一代最新产品的方法。

Mouser从去年开始推出人民币交易服务，满足了部分对最新一代产品有需求的中国客户，此次参展他们希望通过面对面的交流，除了让珠江三角洲的设计工程师们了解他们的产品与服务优势之外，也希望能反馈更多用户的需求，继续提升他们的服务水平。



Mouser Electronics公司展位

北京普源精电科技有限公司(RIGOL)是业界领先从事测量仪器研发、生产和销售的企业，并且是国内最早研发生产数字示波器的高新企业。现已研发并生产了十五大系列、数十种产品，具体包括数字示波器、频谱分析仪、函数/任意波形发生器、数字万用表、虚拟仪器、可编程线性电源，高校液相分析仪等测试仪器。产品广泛适用于生产制造、工业控制、广播电视、网络通信、医疗监测和科研教学等领域，现成为测试测量仪器领域的世界级供应商。



RIGOL公司展位

此次展会RIGOL带来了其生产的多个系列产品和行业解决方案，并重点推出新研发的“四大金刚”系列中的三款主力产品。

- **DS4000系列数字示波器，拥有同类产品中最大存储深度**
- **DG4000系列函数/任意波形发生器，同款产品中任意波种类最多**
- **DSA800系列频谱分析仪，万元的价格高性价比**

为大家呈现了一场测试测量产品的饕餮盛宴。

安捷伦科技有限公司作为测试测量行业的全球领先者，在此次展会上展出了非常多的测试测量解决方案，包括数字电路测试、板级测试、元器件测试等众多热门应用。特别是在示波器方面，安捷伦带来了从通用示波器、低速总线分析到高速总线分析一系列示波器产品。具有低成本、多功能、高性能的2000X、3000X系列示波器和具有磷化铟技术的高端实时示波器DSAX90000A系列，引起了参展者极其浓厚的兴趣。同时安捷伦表示其全线产品将支持中国3G、4G市场发展。

安捷伦公司展位

卓荣集成电路科技有限公司是由一班美国硅谷回流的IC设计工程师以开发高性能、高稳定性及高性价比的系统芯片为主的IC设计企业，致力开发以Flash/OTP为基础的混合讯号微控制器。卓荣提供消费类、通信类及电子等产品的一站式创新设计解决方案。

卓荣的蓝牙音频方案

国际整流器公司（IR）是全球功率半导体和管理方案的领导厂商。IR的模拟及混合信号集成电路、先进电路器件、集成功率系统和器件被广泛应用于驱动高性能计算设备及降低电机的能耗（电机是全球最大耗能设备）等方面，它是众多国际知名厂商开发下一代计算机、节能电器、照明设备、汽车、卫星系统、宇航及国防系统的电源管理基准。

此次，IR公司的专利DirectFET在展会上亮相。对比普通的MOSFET来说，DirectFET封装没有引脚，而是采用直接芯片粘贴，没有线压焊或者引线框，大大降低了封装感抗和封装阻抗。与SO-8封装相比，封装阻抗减少了90%以上，而封装电感也从SO-8时候的2nH减到了0.5nH，寄生效应明显减弱，这都为减少损耗提供了重要保证。

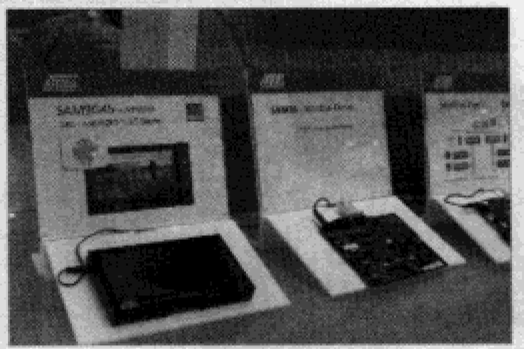
DirectFET在MSI显卡上的应用

日本ROHM展出了SiC MOSFET。SiC MOSFET可以实现高速开关，特别是高温时导通电阻低，可以大幅改善开关损耗和导通损耗。

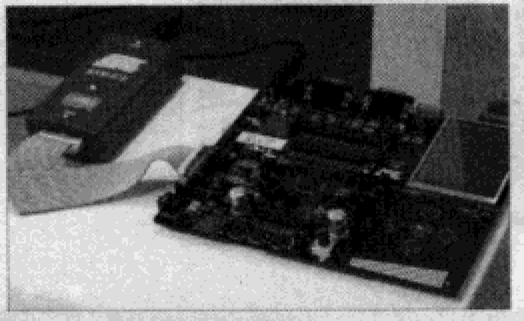
SiC MOSFET晶圆

IIC China

ATMEL公司的产品包括了微处理器、可编程逻辑器件、非易失性存储器、安全芯片、混合信号及RF射频集成电路。ATMEL在系统集成方面拥有世界级的专业知识和丰富的经验，它坐拥分布于超过60个国家的生产、工程、销售及分销网络。此次它为我们带来了更为丰富的芯片产品，并在展会现场讲解了诸如采用最新嵌入式技术的3D动作感应设计等，令参观者大呼过瘾。



ATMEL公司展出的多款开发板



ATMEL公司的音频播放器方案

另外，IIC-China“现场产品拆解”是展会上关注度最高的活动之一，该活动就时下最热门电子产品进行现场拆解，并配有拆解大师的个性解说，其独特的寓教于乐的演绎方式和互动，在现场获得高度关注。在IIC-China三天会期每天上午和下午各拆一场，拆解目标锁定为ipad2及4款最新的平板电脑。不同品牌产品同台竞技，为设计工程师解读当下热门电子产品内部设计构造，见证精彩技术揭秘全过程。

现场拆解第一天“非诚工程师勿扰”秀受热捧。早上十一点，当拆解现场的音乐响起时，在现场附近参观的工程师大多被吸引过来。诺大的拆解会场，被工作人员设计打扮成“非诚勿扰”的喜剧主题，再加上工程师，就变成了“非诚工程师勿扰”。经过头一天的上午、下午各两场的拆解秀之后，现场观众也评出了两场“非诚勿扰”工程师心仪的被拆解产品——智能手机和平板电脑的胜者。

非诚工程师勿扰拆解现场

集成电路技术是电子技术发展的代表，IIC给广大电子从业人士和爱好者提供了一站式学习、观摩、接触、交流的机会。在IIC展会上，让我们接触国际领先技术，倾听权威人士的独到见解，给理论知识一次观摩体验的机会吧！

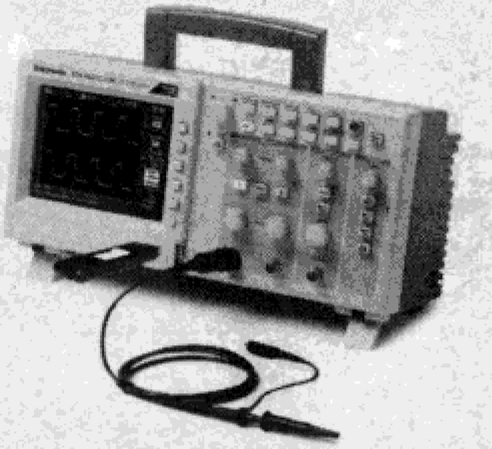
泰克公司推出专门针对教育用户的TDS1000C-EDU系列数字示波器

2012年3月19日，泰克公司举行新闻发布会，隆重推出专门针对教育用户的TDS1000C-EDU系列数字示波器。泰克公司陈迎雨先生向与会者详细介绍了该系列数字示波器和泰克公司为教育机构准备的从基础教学实验室到高级教学实验室以致高级研发实验的各种测试、测量的解决方案。

TDS1000C-EDU系列基于泰克经典示波器平台，包括40MHz、60MHz和100MHz型号，此系列示波器在所有通道上提供了数字实时采样技术，学生们可以在所有通道上同时准确检定各种信号类型。灵活的触发选项（如边沿触发、脉宽触发和行选触发）可以迅速捕获所需的波形。从分析角度看，此系列示波器提供了广泛的功能，包括标配FFT、波形数学运算（+、－、x）、屏幕光标和16种自动测量功能。为使仪器易学易用，采用直观的前面板，带有专用旋钮和USB连接、内置帮助菜单、可以简便设置示波器的自动设置功能、自动探头检查向导及多种语言支持。

随机标配的教育资源光盘提供了多种关键工具，帮助学生掌握示波器的使用方法，并可协助高校教师提升电子技术和EDA课程教学质量。

新闻发布会现场



Shenzhen Mini Maker Faire 深圳 制汇节

2012年深圳制汇节与你相约4月

国内首届 Mini Maker Faire

主 办 方： 柴火创客空间、人民邮电出版社《无线电》杂志
承 办 方： 蛇口行动
协 办 方： 深圳市机器人协会
独家赞助： Seeed Studio（矽递科技）
时　　间： 2012年4月8日
地　　点： 深圳宝安F518时尚创意园
官方网站： www.shenzhenmakerfaire.com

注：用手机直接扫描二维条码即可进入活动官网。

Maker Faire 是美国O'Reilly出版集团下属的《Make》杂志社举办的全世界最大的DIY聚会。它是一个展示创意、创新与创造的舞台，一个宣扬创客（Maker）文化的庆典，也是一个适合一家人同时参加的周末嘉年华。参观者可以和全家一起参与，分享艺术、手工、科学、工程、音乐等领域各种精彩的DIY作品。

第一届Maker Faire于2006年在美国加州举办。短短几年时间，美国本土的Maker Faire已发展成超过700名创客参展，吸引超过17万名参观者参加的全球性盛会。在2011年，Maker Faire的足迹已遍布全球，先后在美国、加拿大、英国、日本和埃及等国家举行了不同规模的聚会。今年，深圳柴火创客空间向美国O'Reilly出版集团申请，获得了官方授权，将在深圳举办首次Mini Maker Faire活动。作为《Make》杂志中文版（《爱上制作》系列）出版方，我们还为它起了个亲切的中文名——制汇节。

本次活动由柴火创客空间及人民邮电出版社《无线电》杂志主办，深圳市机器人协会协办，Seeed Studio（深圳矽递科技有限公司）提供独家赞助。

深圳作为中国高新技术产业的重要基地，拥有全世界最大的电子集散中心——华强北商业区，是一片创客的“乐土”，科技创客可以轻松地淘到各种电子元件。我们相信，这次制汇节活动会贯彻深圳发展科技城市的方针，顺势推动深圳乃至全国创意科技产业发展，为本土科技创造者搭建国际创意交流平台，激发民众对科技的关注，让科技走向普通大众。

柴火创客空间由Seeed Studio创建，是深圳第一家创客空间。Seeed Studio作为国内最大的开源硬件公司，一直致力于帮助小规模创新者将想法产品化，从2010年起积极作为参展方赴美参加了多届Maker Faire，并获得过《Make》杂志编辑选择奖，对Maker Faire倡导的创客文化有着深入了解。他们结合深圳注重创新与创业的城市特色和强大的产业支撑功能，联合深圳本地的社区组织，将自己的经验与热情注入本次制汇节中，将为广大制作爱好者奉献一次盛会。《无线电》杂志社2011年9月在上海国际无线电展上成功举办了与Maker Faire类似的创意电子嘉年华活动。我们都希望这些鼓励“创意、创造、创业”的活动能更多地在中国推广、繁衍。

招募：我们欢迎国内DIY爱好者、科技型创业公司、大型科技公司及团体报名参展，也欢迎全国各地创客相关工作坊及文化表演团体的参与。

活动详情请登录官方网站：www.shenzhenmakerfaire.com。

深圳制汇节上的创客与作品

◇柴火空间

更多精彩作品见2012年4月8日深圳制汇节现场

国内创客与作品

RoboPeak

RoboPeak是国内由一群软件工程师、电子工程师、新媒体艺术家所组成的机器人及相关技术领域的设计研发团队，于2009年底创建。团队致力于机器人平台系统、机器人操作系统（ROS）以及相关设备的设计研发，并尝试将日新月异的机器人技术融入人们的日常生活与娱乐当中。同时，团队将尽力为机器人技术在开源硬件、开源软件社区的普及做出贡献。

◆ **网站** http://www.robopeak.com

◆ 展出作品

作品名：Qube 自然魔方

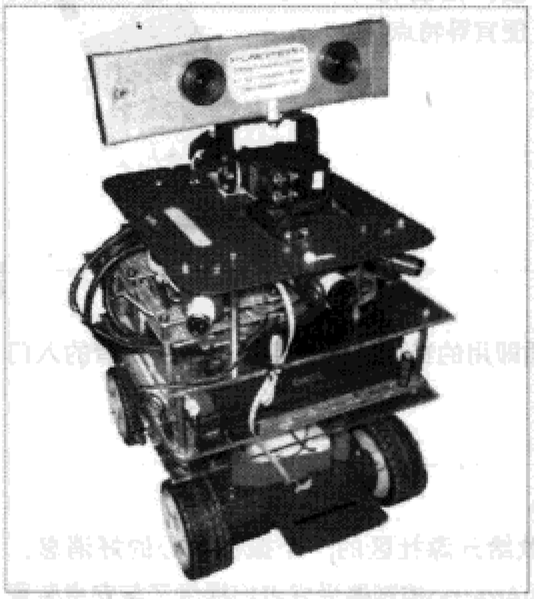
简介：Qube是RoboPeak团队对于物联网在家庭使用以及智能玩具领域的前瞻性探索，每个魔方都配备各种传感器，不断地采集外界信息，并通过无线芯片将信息与其他的魔方进行分享和交流，曾参展2011上海国际科技艺术展。

作品名：自制3D激光扫描仪（雷达）

简介：由团队成员陈士凯自制的低成本、高性能3D激光扫描仪，可扫描物体产生3D模型，本刊2012年第2期详细介绍过。

作品名：RoboPeak第一代原型机

简介：团队的第一代原型机器人，采用x86架构系统控制，带有双目立体视觉、激光雷达、GPS等多种配备。



作品名：自制激光投射键盘

简介：由团队成员陈士凯自制的低成本激光投射键盘装置。

作品名：RoboPeak USB Connector与Arduino-Lite库

简介：Arduino-Lite 是团队开发的Arduino改良开源库，比Arduino快10倍以上，而体积仅为1/2~1/5，支持更多AVR芯片，目前广为社区所认知。RoboPeak USB Connector是由团队开发的兼容Arduino的低成本免驱动USB开发套件，同时可作为编程器使用。

新车间

新车间向硬件高手、电子艺术家、设计师、DIY爱好者和所有喜欢自己动手捣鼓各种东西的人提供了一个包含实验空间和基础设备的开放式社区。在这里，大家不仅可以和兴趣相投的人一起拆拆装装各种电子和物理产品，而且还可以共同实施一些好的设计和想法。

新车间将工作空间提供给人们来实施自己的项目，举办包括电子、嵌入式系统、编程和机器人等不同主题的研讨会和培训班。此外，新车间也将成为一个融资和管理平台，来支持人们实施自己的作品和项目。

◆ **网站：** http://xinchejian.com

Seeed Studio

seeed

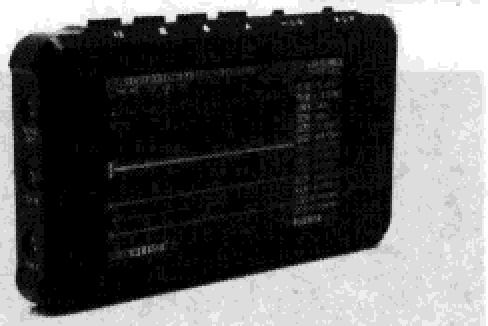
Seeed Studio成立于2008年，是一家致力于促进开源硬件发展的服务型企业，通过提供模块化的快速开发工具，使设计者能根据创意，简单快速地开发出产品原型，此外，还通过提供从研发辅助、采购生产到渠道分销的一站式配套服务，帮助设计者实现从创意到产品的转换。为鼓励民族自主创新精神，Seeed Studio还投资建立了深圳第一家Hackerspace——柴火创客空间，努力为设计者的创造和创业打造一个良好环境。在开源硬件的框架下，Seeed Studio已经与众多设计者建立了紧密的合作关系，合作推出了涉及新媒体艺术、嵌入式平台、物联网、智能家居、便携式仪器等领域的一系列明星产品和方案。基于对行业的深厚理解，以及不断地自我完善，Seeed Studio正加快步伐，为实现“以促进开源硬件发展来推动创新精神传播”的愿景目标而前进。

◆ **网站：** http://www.seeedstudio.com

◆ 展出作品

作品名：DSO Quad示波器

简介：一款只有 MP4 大小的便携式示波器，但功能足以应付电子工程师的日常所需。



作品名：RF Explorer 频谱分析仪

简介：一款手机大小的频谱分析仪，具有体积小、功能齐全、低能耗和价格便宜等特点。

作品名：Grove

简介：一系列开源的电子模块工具集，具有即插即用的特性，大大降低电子爱好者的入门门槛，是Seeed最重要的产品线之一。

作品名：Seeeduino ADK

简介：安卓开发工具包（ADK）是2011年谷歌给开源社区的一个振奋人心的好消息。Seeeduino ADK完全兼容Google ADK的设计，为Arduino控制器爱好者们提供了与安卓装置互动的理想选择。

作品名：.NET Gadgeteer

简介：.NET Gadgeteer是一套用于创造不同用途的小型电子设备的开源工具集，使用.NET Micro Framework和Visual Studio/Visual C# Express，结合硬件模块和.NET软件，让用户能在不十分了解硬件知识的情况下，在数小时内创造出智能硬件、快速原型设备，帮助教师设计出新颖的交互教育仪器，帮助业余爱好者创造出想象中的事物。

DFRobot

DFRobot 成立于2007年，总部设在北京，专注于发展研究机器人技术，特别是在开源硬件、移动机器人平台和机器人传感器等领域。目前，DFRobot已经成为中国最大的机器人配件网上销售平台之一。URM37 V3.2超声波传感器是他们的第一款产品，目前已经成为了机器人玩家市场里的一款热销产品。

◆ **网站：** http://www.dfrobot.com.cn

◆ 展出作品

作品名：自动浇花套件

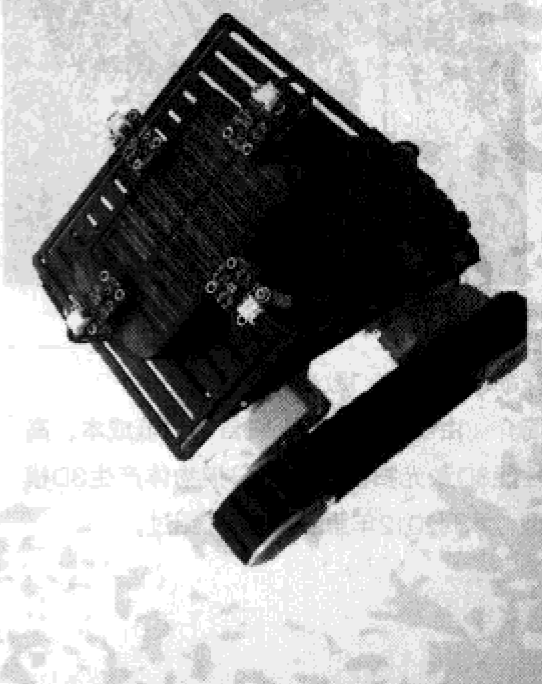
简介：它是一款基于Arduino的控制器，使用土壤湿度传感器对土壤湿度进行监测，通过温、湿度传感器对室内温度、湿度进行测量，控制水泵或电池阀进行浇水，从而达到自动浇灌的目的。详细介绍见2012年第4期《无线电》杂志。

作品名：远程洗手间使用状态指示装置

简介：类似火车、飞机上的洗手间使用状态装置，但不同的是，我们通过Arduino控制板和数字红外接近开关检测洗手间的门是打开还是关闭状态，以无线方式将数据传输到较远的地方，方便离洗手间远的人了解洗手间的使用状况。详细介绍见2012年第2期《无线电》杂志。

作品名：MINI太阳能收集平台

简介：4个在太阳能板周围的光传感器随时检测周围环境光的亮度，经过代码处理，加上底下舵机的旋转，就能让太阳能电池板始终对着光最强的方向。放到太阳光下的效果，就是它始终会对着太阳的方向，这样就能保证最大限度地收集太阳能。详细介绍见2011年第12期《无线电》杂志。



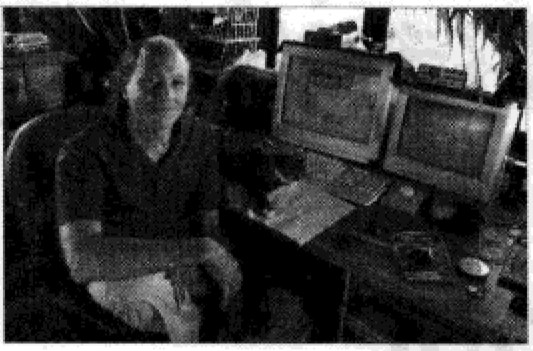
业余造物主

◆ **网站：** http://www.douban.com/event/14570985/

“业余造物主”是深圳蛇口一群不甘寂寞、动手能力强的年轻人，他们秉着“损坏物品再利用、活跃思维再扩散”这样的理念，每逢周日都会在柴火创客空间聚会，倒腾一些小发明、小创造。这些发明创造让生活从此不必垂头丧气，反而提供了无限可能。

国外创客

Mitch Altman及其团队



Mitch Altman（米奇·奥特曼）是hacker、发明家、全球创客的领军人物之一，拥有电气工程学硕士学位。1997年，奥特曼与合伙人创立了3ware公司，主要从事电脑光驱业务。随后，他还成立了Cornfield Electronics公司，主要从事电子企业顾问工作。2004年，奥特曼发布了一款一键式万能电视遥控器TV-B-Gone，随即名声大噪。在接受BBC的采访时，他声称："我不想给任何人的生活带来障碍，我只是不喜欢电视，想让人们对他们生活中的这个强大媒体多作一些思考。"

◆ **相关链接：** http://baike.baidu.com/view/5663353.htm　　http://www.tvbgone.com

Gabriella Levine

Gabriella Levine是美国知名创客，Protei项目的主要负责人之一。Protei是一款低成本、开源的油污收集机器人，它结合了传统的技术和创新的外观设计，可用于应对紧急的环境危机，例如BP漏油事件，也可用来清理海洋漂浮垃圾或进行海洋研究。

◆ **相关链接：** http://www.kickstarter.com/projects/cesarminoru/protei-open-hardware-oil-spill-cleaning-sailing-ro?ref=live　　http://protei.org/

Joey Hudy

Joey Hudy（乔伊·哈迪）是年仅14岁的美国小创客，擅长开源硬件的制作。在2012年2月7日举行的第二届"白宫科学展"（White House Science Fair）上，他受邀前往白宫国宴厅，并在美国总统奥巴马的帮助下，发射他自己发明的"顶级棉花糖大炮"（Extreme Marshmallow Cannon）。

◆ **相关链接：** http://news.xinhuanet.com/photo/2012-02/09/c_122678404.htm

HAXLR8R团队

HAXLR8R是一个111天的加速项目，专注于为世界各地的硬件创业企业提供合适的支持，帮助它们将理念转化为现实的竞争力。他们打算投资12家硬件新创公司，产品范围从电子玩具到生活用能管理设备，以此来启动其孵化计划。该计划由风险投资人西里尔·艾伯斯卫乐发起，除了提供种子基金，还会在3个月内把新创公司介绍给工厂以及企业联系人，并提供指导。计划的大部分将在中国进行，由于接近本地工厂，硬件开发的成本和难度都会降低，当然，最后向投资者展示公司最终产品的地点还是旧金山湾区。

◆ **相关链接：** http://www.haxlr8r.com/　　http://it.msn.com.cn/network/471232/724169114168b.shtml

Limor "Ladyada" Fried

大牛Limor Fried小姐，是开源硬件的先锋人物。她具有MIT电子工程硕士学位，自己在纽约开了一个叫Adafruit Industries的公司，出售开源的电子配件给开源社区。2011年4月，她上了《Wired》杂志的封面，成为DIY革命风潮的代言人。

Limor的代表作有很多，如Tweet-a-Watt、Altoid tins以及reverse-engineered等。

◆ **相关链接：** http://www.ladyada.net
http://en.wikipedia.org/wiki/Limor_Fried
http://www.adafruit.com/blog/about/

Ian及其团队

Ian Lesnet是荷兰知名创客，长期活跃于网络上的创客社区。在2009年，他把自己的兴趣变成了一门生意，成立了Dangerous Prototypes公司，把自己的大部分作品变成了产品。这次他会带领他的团队来参加制汇节。

◆ **相关链接：** http://dangerousprototypes.com/

专属制作爱好者的“骇客帝国”——新车间

◇林尧　徐骁雯

如果有人要问 “新车间”是什么，你会用怎样的语言来描述呢？一个新的车间？一个有趣的玩笑。那如果我问“What's the Hackerspace?”也许闪过你脑海的是《骇客帝国》里刺激的躲子弹游戏。

但是在接触过Hackerspace后，它带给我们的震撼，毫不逊色于电影的画面，它是一群有趣的电子爱好者，用他们的力量为这个城市里所有有着这样爱好的人们，搭建一个属于他们的“骇客帝国”。

Hackerspace，新车间，虽然名为“新”，成立于2010/10/01，但是追溯它的前身，是存在于1978年的Homebrew Computer Club，那是个属于梦想的地方， Steve Jobs 和Steven Wozniak的“苹果梦”在那里发芽，Bill Gates在那里筹措到第一笔起步资金，而新车间，也是一个梦想的起点……

作为“创客空间”在中国的代表军团——新车间，也是上海这座城市对于创客空间的“第一认知”。

所谓创客空间（Hackerspace、Hackspace、Hacklab、Makerspace、Creativespace）是一个人们能分享兴趣——多数是电脑、技术、科学、数字或者电子艺术（也包括其他更多方面）——合作、动手、创造的地方。

创客空间可以被看作开源社区创客能聚集在一起分享知识，创造新事物的实验室、厂房、工作坊、工作室等。很多创客空间参与自由软件、开源硬件、新媒体的活动。

新车间，就是这样一个搭建在厂房里的“创客空间”，藏匿在上海安化路的娴静厂房里，远离这座城市繁忙的喧嚣与忙碌的脚步，若不留心，极有可能就与之擦身而过，但Hackers总能准确地找到这座有着一些陈旧故事的传奇厂楼，因为，他们的帝国在这里。走进新车间，或许你

会小小地怀疑，这是那个在展示会上活灵活现的机器人、创意电子作品诞生的地方吗？一个类似于零件工厂的小小工作室，简单的桌椅和橱柜，一百多平米的空间，却似乎都被各式各样奇怪而有趣的东西占据着，机车、路障、竹子，似乎有太多与这个电子爱好基地格格不入的元素，但也彰显着各种奇妙的可能。

绝对的活力家族

踏进新车间的工作室，首先映入眼帘的，同时也是最为夺人眼球的就是他们的成员墙。面积不大的成员墙上，是一张张洋溢着热情与活力的笑脸，无论是新车间的成员还是学生或是来访者，都毫不掩饰地传递着对于这个帝国的喜爱，不同的国籍、不同的年纪、不同的性别、都有着相同的憧憬与乐趣。在交流中，他们的每个成员总是能够仔细认真且友好地回答我们的问题，因为对于新车间的责任，更因为对于他们的爱好与理想的坚持……

这里是创客们的另一个家，他们会用图钉将纷繁复杂的生活信息固定在可见的地方，也会贴心地用粗粗的马克笔在木板墙上写下火警电话、急救电话、报警电话，他们将工作室贴满了形形色色的logo贴，也在冰箱门后面准备了充足的饮品，他们会随意地坐在长长的大木桌上与你畅谈，每一个细节无不表明，这里是属于他们的乐土。

他们并不是我们传统观念里的电子怪才，相反，还透露着天真与可爱。放置在中间位置的立地盆栽，手掌大的叶片，翠绿得惹人喜爱。但一转身却发现了更加可爱的小细节，在其中的一张叶片上，不知是哪个顽皮的创客，用粗粗的马克笔，画上了一张吐着舌头的笑脸，如同这个充满快乐的地方，年轻而活力十足。

新车间的“成员墙”

绿叶上的笑脸

新车间里的各种工具、仪表

总有这样的感觉，新车间是彩色的，虽然几乎所有的布景颜色不多，批注都是拿粗粗的黑色马克笔写下的（偶尔换上同样粗粗的蓝色马克笔），但是，他们带给我们的感受，就是彩色的，如同阳光散色后的光谱一般，五彩斑斓。

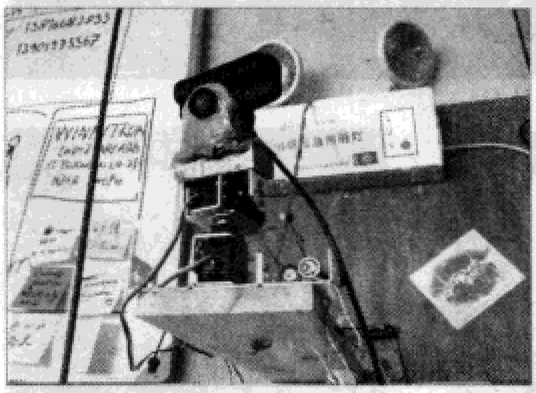
无声的环保家族

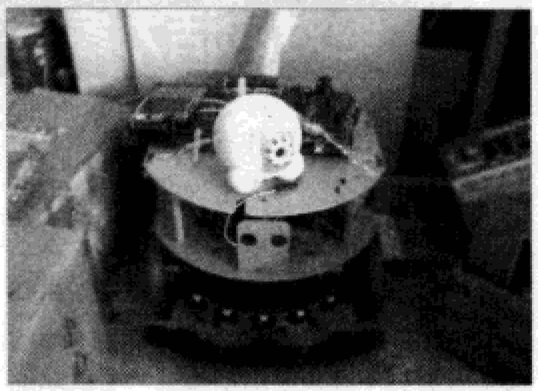
如果说细心的解说、精彩的活动是新车间带给我们的主观感受，那么，新车间里的一些细节，就是在以一种无声的形式，向我们娓娓道来他们的生活理念，悬挂在墙边的电池回收纸盒、易拉罐拉环回收盒，虽不起眼，却表明了一种生活态度，虽然是电子爱好者，但他们同时也是绿色环保的守护者。

还有一个直观的感觉是，虽然新车间的工作区域内放置了大量各式各样奇怪的“原料”，但是却没有凌乱的观感，东西虽多，却被收纳得井井有条，倚靠在墙边的大铁橱，似乎像是《变形金刚》里的擎天柱，安静地守候在那里，为创客们提供所需的各种工具及材料，芯片、钳子、焊锡丝……分门别类地收纳在不同的板块，一目了然。

虽然来往的爱好者不少，在新车间的工作室里，却看不到任何被“放错位置”的垃圾，地面虽然是最为简单的水泥地，却一尘不染，相信这也是这群创客们不需要约定的守则。

分门别类的物料收纳



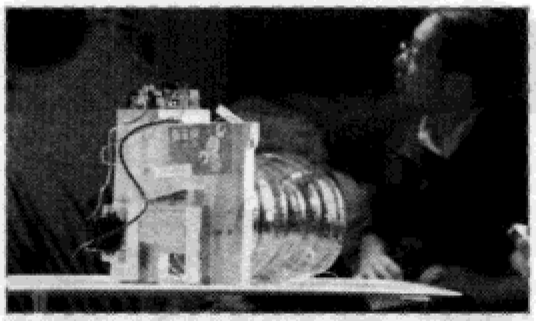


各个角落里的DIY作品

文化的熔炉

倘若你要问，新车间是属于哪个地方或者哪个国家的？我想这个问题的答案应该是：属于这个世界，这个时代。新车间的成员来自五湖四海，不同的国籍、肤色、年龄、性别，这是表面的“国际化”，但是更为深层意义在于，不同文化在这里撞击出猛烈的火花，东方的、西方的，传统的、创新的，在这个空间里激发着全然不同的思想。

在BarCamp上参加者体验DIY作品



新车间为BarCamp带来的作品

BarCamp上的小小演说者

关于BarCamp的故事

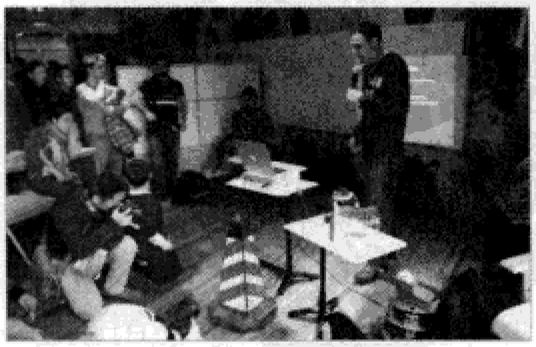
在走访新车间间隙，笔者也有机会参加了3月3日由“科技蚁族”主办的，在Haworth Organic Workspace举行的BarCamp上海活动日。BarCamp活动以“非正式会议”模式著称，参与者可以是任何人，从普通学生到知名企业家。只要是对技术拥有热情，BarCamp都能给你一个舞台，让你与志同道合的技术达人分享想法。

BarCamp的想法源自一群硅谷的技术爱好者，他们一直试图打破正式的、排外的、枯燥的科技会议模式。如今的BarCamp已经遍布全世界超过350个城市。BarCamp的精神很简单但很有力，它提供了一个完全开放的平台，让人交流和分享关于技术的最新想法。这种“非正式会议”没有特定的主题，也没有事先安排好的活动或者限定的发言人。参与者的期待不会被“框住”，从辉煌到离奇都会在当天被分享。

同样，新车间也在BarCamp的活动中为我们带来了很多的惊喜。

或许传统的中国式家庭里很少会有这样的孩子，小小的个子，稚气未脱的模样，却已经对软件世界、电子世界产生浓烈的兴趣。当他在众人面前娓娓道来自己的设计，并为大家演示的时候，没有人会质疑他的能力。当他的母亲提醒他在讲解结束后询问在场观众有没有问题的时候，他简单地复述着母亲的话，也就是在那一刻才表现出他还只是个孩子，但是得到了所有人的掌声。这让我联想到一个父亲所说的带儿子来新车间的原因——接触，然后培养兴趣。在新车间，没有填鸭式的学习，兴趣是最好的老师。

机器人似乎永远是电子爱好者难以割舍的命题，不同的功能、不同的形态，不知道怎样才能够吸引所有人的眼球？但我也希望永远没有这样完美的机器人，因为这个世界，需要这群热爱机器人创作的创客们去不断地追求、创造，从而变得更加精彩！



创客在BarCamp上发表演说

“Art+Tech” DorkBot

感受了BarCamp带来的的震撼之后，新车间又为我们带来了另一场盛宴——3月10日在新车间的“Art+Tech”主题演讲Dorkbot。这是一场艺术家、发明家、电子爱好者的“集会”，是一个轻松氛围下互相间交流作品、想法与技术的平台。

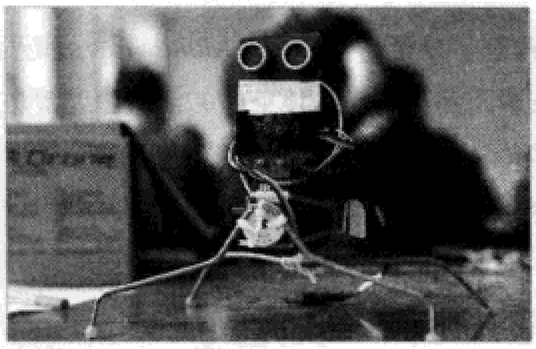
在新车间的“主场”，我们又领略到了另一种特别的“科技革命”，这个革命有关艺术。谁说艺术和科学是文化的两个极端，当他们携起手来，又是另一番天地。

1. 首先是Patrick Jost给我们带来的演讲——《我辞职后的生活——与互动设计项目有关的工作与生活》。

如果你有一份稳定的工作、不错的收入，你会为你所喜爱的东西选择放弃这一切吗？Patrick Jost为我们呈现的，就是这样的选择，在现场，他以一个自由的互动项目设计师的身份，为我们演示了多点触控程序、自动识别投影框等项目。

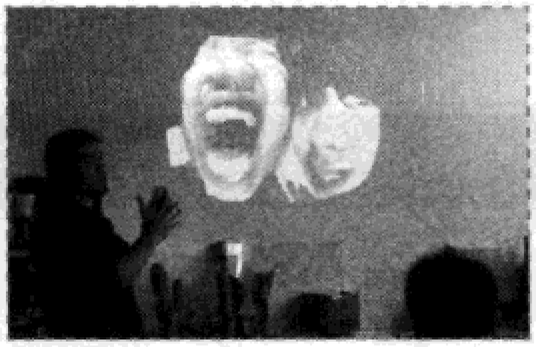
2. 艺术和科学的融合，在郭锐文(Raven Kowk)给我们带来的演讲中得到了淋漓尽致的体现。

1989 年生于上海，2001 年在当时盛行的闪客文化影响下开始接触Flash,2003 年开始自学 ActionScript 脚本，2007 年至 2011 年间就读于上海视觉艺术学院,摄影专业，2010 年开始自学 Processing，2011 年加入机器人设计研发团队RoboPeak,同年10月在上海新车间 Hackerspace 长期开设 Processing 工作

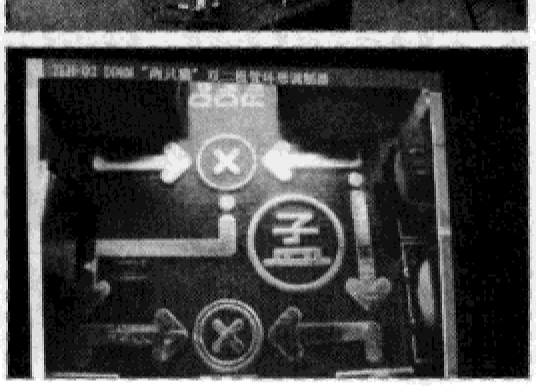


BarCamp上出现的创意机器人

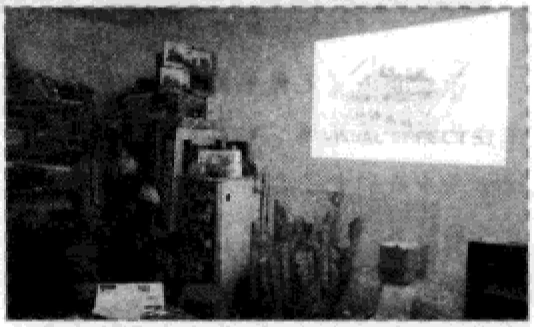
坊。他年轻、敢为，艺术出身的他依靠自学完成了由艺术到科学再到两者融合的过程，可以说是Art+Tech的最好注释。



3. 或许他，孟奇，可以被称为跨界音乐与科学的怪才，地地道道的北京味解说，让在场的每一位都听得过瘾，非但听他的生动解说，更是听他创造的奇特音乐。这是全然不同于任何我们所听过的音乐的，他的音乐里，有着专属于电子的味道，他带来的模拟合成器、弹簧钢琴、迷你键盘，有趣而新颖。



4.最后由张翊（Yi Zhang）带来的《Milkymist One－开源音乐视觉化硬件》和Kim Laughton带来的《 如何让模拟与数字互相碰撞结合以产生奇幻的视觉效果》的演说，同样有关音乐，同样为我们带来的是属于音乐与电子及软件之间碰擦出的奇幻效果。



属于你的创客帝国

这样梦幻的帝国或许是所有电子爱好者所憧憬的国度，新车间的独特之处也在于，它是一个非盈利性质的团队，它开设了很多的课程，Lutz教授风趣地告诉我们：在这里，2~99岁的人都可以学习如何组装一只属于他们自己的机器人，学习时下流行软件的应用，各种神奇套件的组装及应用等的课程，只要你有兴趣，任何人都可以是这个“创客空间”的一员。

◇杜洋

编前语：从2011年开始，我刊陆续刊登了介绍创客空间、Maker Faire和开源硬件的文章，“创客空间”这个名字逐步进入电子爱好者的视野，在这些介绍文章中，我们邀请创客空间的组织者或者访问者，描述了目前国内外创客空间的现状、理念和愿景，这些内容得到了不少读者的关注。如何看待“创客空间”这个近年的新生概念，亲历者与旁观者有着不同的视角。我刊邀请《爱上单片机》一书的作者杜洋以“旁观者”视角再谈创客的那些事。希望读者更以更开阔、客观、包容、理性的态度，看待创客空间的出现与发展，也欢迎更多的关注从创意到创业的爱好者百家争鸣，为创客空间的本土发展提出中肯的建议与意见。文章内容仅为作者个人观点，不代表本刊立场。

我看创客空间

创客现状

不久前，《无线电》杂志和柴火空间主办的第一届深圳“制汇节”圆满落幕，这标志着我们电子爱好者又多了一个属于自己的节日。《无线电》的老师们曾邀请我参加，可是因为工作忙，再加上没人给报销差旅费，所以……总之我是没去成，本有一次参与制汇节、参观创客空间的机会被我错过了。所以我在写这篇文章时多少有些没底气，因为我还没有去过实体的创客空间，没能了解他们的经营情况和文化氛围。可是《无线电》的老师们又希望我写一篇评论文章，以我的观点给读者一种新视角，于是我发挥了“死猪不怕开水烫”的精神，硬是在知之甚少的情况下评论创客空间。好话先说在前头，如果读者中有创客空间的主办者或骨灰级粉丝，我相信诸位有这个雅量可以宽恕我的言语不当，毕竟现在评论越来越难了。

上海“新车间”里贴的Logo（林尧 摄）

我第一次听说创客空间是在微博上发现“新车间”，它是上海的一家创客空间。前不久一位友人去上海参观了“新车间”，回来后兴高采烈地跟我说：“哎呀，杜老师，咱们能不能也办一个呀。”于是我才专门了解了一下创客空间。创客空间是根据英文*Hacker Spaces*得来的，源自《爱上制作》的原版杂志《*MAKE*》。大体是说大家到一个空间里一起学习、制作、分享，做一些有创意的东西，演讲、竞赛或项目合作，在国外已经有几十家比较知名的创客空间了。

简单来说，创客空间的经营模式就是租用一个大房间，房间里有各种仪表工具、元器件，水平高的，水平低的，什么人都可以参加。定期组织一些比赛和讲座，大家在空间中尽情发挥自己的奇思妙想，只要按月交会员费就可以了。这是多么美妙的想法呀，不过听起来好像似曾相识的样子。没有错，创客空间的模式其实就是我们早就熟知的俱乐部，只是为了引起大家的注意而改了新潮的名字。没办法，在眼球经济和标题党横行的当今社

美国一个创客空间里（Eric 摄）

会，谁让大家都只喜欢新东西、新概念呢。俱乐部文化在欧美国家发展得非常成熟了，不同的兴趣爱好都有相关的俱乐部组织，有专业的策划团队和经营管理人员，对于会员招募、活动内容、品牌定位、市场营销都有成熟的操作。国外的俱乐部是稳步发展的营利组织，创客空间作为制作爱好者的俱乐部，在这种模式下很快建立并发展，其中最主要的原因是国外的人们早已习惯了俱乐部文化，乐意为此埋单。另外还有一些“高富帅”的爱好者，他们会赞助创客空间，这样就让其他会员少交或不交会员费，吸引更多人加入。不

过赞助这种事要看缘分，不能算做常规收入，会员费的方式才是可持续发展的。

国内的创客空间是将国外的经营模式、创客理念、创客文化复制到国内，它的初衷是：如果一个人独自DIY，可能你的见识面小，你的资源有限，如果你加入创客空间，可以结识很多朋友，拥有自己的工作区，还能参加讲座，在知识和眼界上带来新的开拓，这是创客空间宣传的重点内容。国内已经成立的创客空间有：新车间（上海），柴火创客空间（深圳），克现创意（南京），北京创客空间（北京），洋葱胶囊（杭州）。经过我的调查和内线消息得知，国内的这几家创客空间基本上都是依靠个人赞助或背后的公司支持才建立起来的。到我撰写文章的这一刻还没听说仅靠会员费实现收支平衡甚至盈利的，也就是说创客空间在国内还没有找到稳定的盈利模式。虽然有些创客空间是非盈利性的，但是也需要会员费来保证空间的运营。所以创客空间目前只能以公益组织的方式存在，赞助成了创客空间经营的命脉，组织者们则更关注如何找到更多的赞助商。随着创客空间在各大城市一个接一个的建立，他们的活动也越来越多。可是国外的创客文化和经营模式在国内就可以如此复制并生根发芽吗？

创客文化

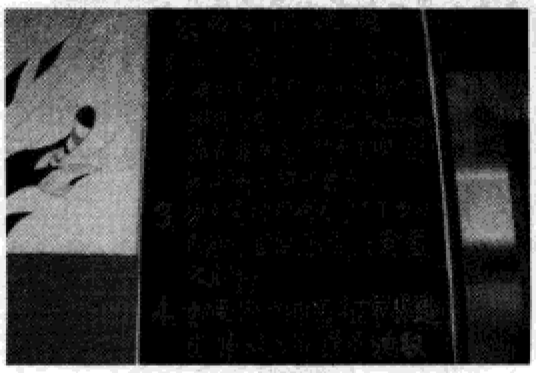
我听到的创客空间的基本理念是：汇聚、活动、合作、分享、兴趣、创新，还能加上开源精神、享受过程、关注实践等。恕我直言，这些理念听上去没有什么特别，现在太多的新兴组织都会借用这些词汇作为其理念。我认为创客空间在理念上最有价值的是它在普通人群和制作爱好者的中间建起了一座桥，让更多的普通人爱上制作。同时它也是各种艺术与技术间的桥，创新的一个重要来源是不同学科间的交融，在思想汇聚之中闪现灵感。创客空间提供了这样的环境，让不同专业的会员组织起来，一起玩出创意，玩出精彩。从这个角度上看，创客空间的理念在专业科普领域有着很大的价值空间。

我很喜欢创客空间的文化氛围，他们自由、开放、友好、轻松、包容。他们的组织者都很有思想、热爱生活，积极进取，有国际视野，也有领导能力。我相信他们建立创客空间不是为了名利，是为了一份梦想，让自己乐在其中。他们希望结识志同道合的朋友，一起发现制作的乐趣，再分享给更多人，所以他们提倡开源、喜欢分享。由这些组织者领导的创客空间必然是自由、开放、友好、轻松、包容的。这种创客文化正是国内最稀缺的，我也很希望在这样的环境中学习和工作。但是我不得不说，在中国，创客空间必然是小众空间，创客文化必然是小众文化，它的发展受到文化、地域、场地、时间、费用、资源等诸多方面的制约。创客空间若想在全国范围内遍地开花是非常困难的，除非它能找到一种自给自足的经营模式，并在文化上与国内的“培训班”文化融合。下面仅以我的观点和诸位分享。

目前在中国最流行的一种组织形式是“培训班”，它包括各种专业技能的培训班、专家讲座、TED社团的演讲活动、各种公开课，大学的课程也可以算在其中。这种“培训班”都有很明显的特点：主题明确，学员固定，目的明确，有专业讲师，收费经营。想报名“培训班”的人都可以很明确地知道自己要付出什么，会得到多少回报，而同样这些指标性内容在创客空间上并不明朗。我特意制作一个指标比较表，大家可以对比一下。

不得不承认，目前国内的“培训班”文化占了主导地位。人们参与活动带有很强的目的性，会在心里做收支考量，而创客空间的经营模式让人们看不到自己“近期”想要的东西，所以在参与方面会谨慎行事。现代人的生活节奏快、工作压力大，学生也有学业压力和就业压力。人们也希望可以有闲暇时间去玩，可是现实压力不得不让他们选择更“有利”的培训活动。所以会员费并不是人们最关心的，人们更关心的是有没有时间、花不花精力、是否高效、是否物有所值。虽然创客空间不是他们想找的，创客空间也不把这些人看成潜在会员。但以上状态的人占绝大多数，他们都保持观望态度，有条件会去参观一下，仅此而已。

那么创客空间的潜在会员是什么样的人呢？他们应该是有热情的，不被生活压力所累而疲惫不堪；他们应是有时间的，可以随时参与创客空间的活动而不必赶着加班、上学；他们应是有能力的，参与活动时能很轻松地与他人交流技术和观点；他们应是有经济实力的，不会为会员费和生活花销而操心；他们会忠于自己的兴趣爱好，喜欢热闹，乐于交流。听完这些条件你会认为不可能有如此潇洒的人存在，但我很抱歉地通知您，这样的人可以有，但却是社会中的少数。还有一些条件不足的，会克服困难参与进来，例如无忧无虑的学生，可能会逃课参与进来。由此我们不难看出，这确实是一个少数人组织、少数人参与的“富人”俱乐部。“富”不是指有钱，而是指热情、精力、时间、能力、兴趣的富足。



经营模式

我们再来分析一下创客空间能给会员带来的资源有哪些。首先有场地、人脉、工具、元器件，还有集体活动（包括讲座、竞赛等）。外国人很乐天，他们考虑事情少，生活压力小，有“猴子”的心态，他们可以组织一些人一起玩，玩得很开心。在中国，创客空间遍地开花的可能性不大，因为它目前的模式局限了它的会员范围。它面向对制作感兴趣的人群，不论是艺术创想，还是电子制作，还包括无线电爱好者，反正它提供空间，大家来融合交流。但是从细分市场上讲，符合条件的人很少。人气不足会导致会员数量的不稳定，组织活动和交流方面都会受此影响。最终导致创客空间的活动多样、内容丰富，但质量不高。

“培训班”与创客空间的指标比较表

	培训班	创客空间
主题	主题明确，了解自己的支出和回报	主题随机，不能预计支付和回报
学员	人数固定，以班分级	随时有成员加入或离开，不分级
内容	学科固定，有课程大纲	多学科混合，活动内容比较随机
时间	时间固定，有课程表	活动临时通知，活动时长不固定
目的	以学习技能为目的	以DIY、创业、交流为目的
目标	有明确的课程计划和学成目标	活动计划随机安排，渐进式活动
讲师	有全职的讲师或导师	无全职老师，偶尔请专业人士讲座
教材	有固定教材，但实时性差	没有固定教材，实时性强
实践	实践不多，以理论学习为主	实践多，但缺少深入实践
自由度	少有自由思考和活动	有充足的自由度
收费	以学期收费，费用标准不一	按月收费，费用标准不一，部分免费

创客空间另一个吸引我的地方是可以交朋友，但是网上论坛、微博、人人网也可以交到朋友，交流起来更方便。而线下大家想约个时间聚到一起很困难，认识朋友的功能与网络社区相比并不占优势。创客空间还能提供环境和资源，但目前愿意自己有一个独立的工作室或者愿意在自己家里有一个工作间的人还是占多数，花钱到空间里租用工具和自己买工具相比，还是自己买划算。如果说空间里有不同行业的创客进行横向协作，这样是最能产生创意的。但是不是每个人都能认同创客空间这种形式，不同专业的资深人士参与进来的并不多，交流的深度和质量同样不能保证。

还有一个问题就是“我能得到的资源能否和我的付出相符合？”这是每个参与者都会考虑的问题。作为爱好者来讲，他们会综合各种因素考虑要不要参加。如果我付出了时间、精力和热情，能否得到我预期的回报？我参加之后不管是在经验、人际、知识上是否都能扩充？如果物有所值，甚至物超所值，那就会参加。但创客空间能不能达到这个程度呢？关于投入和回报，如果我想学一项专业技能，比如单片机，我会选择培训班或自学，不会选择去创客空间。因为创客空间更多的是当我有了技能后去哪里发挥，而不能系统、深入地学习技能。创客空间潜在的会员应该是学生，学生是最具想象力的，他们的积极性、时间和精力等条件都很好，可是学生的独立性差，需要有导师带领着。而创客空间提倡平等交流，没有专门的活动策划和项目经理，使得会员的参与缺少目标和指导，完成作品的品质不能得到提升。这种状态会逐渐产生消极情绪，对创客空间的文化保持不利。

改进建议

下面是我对创客空间本土化发展的建议，希望可以帮助到创客空间的组织者们。我是希望把创客空间发展成营利性组织，这样才能让创业者有动力，在更多中小城市创建创客空间。当然，组织者们可能有自己的理想，并不想做得太商业，这就见仁见智了，跟随自己的梦想发展也好。

线上聚人，线下发展

创客空间的发展需要让更多的人了解、参与进来，不仅是本城市的，也要包括异地的潜在会员。所以应该建立创客空间网络社区，比如说，某地还没有创客空间，也没有一个网络社区，可能建立线下实体创客空间的时机不成熟，但可以先建立一个论坛或一个群组。大家先在网上讨论交流，积累人气，等条件成熟再建立实体空间。另外，可以在网络上发布创客空间活动的视频（特别是讲座的视频），让想来又因故不能来的朋友也可以分享知识，感受到创客文化的魅力。在条件成熟时可继续发展周边地区的实体创客空间。

玩出精彩，学出品质

创客空间的作品一定是好东西，有品质、有价值的好东西。比如说我前不久看到一位外国友人做的三轮车打印机，通过*Arduino*控制器，能够在骑行的过程中通过洒水来写字。创客空间会做出这种美式风格的作品，但它们往往不太具有直接的

实用价值，但我不否认它们有实用价值的潜力。但大家也会觉得：我们就是玩嘛，不考虑别的，玩得开心就好。假如你不仅玩得开心，同时还能让作品有实用价值，那不是更好吗？比如做一个扫地机器人、家用气象站之类。其实我觉得做好玩的东西并不难，但是能做出好玩又有价值的东西很难。创客空间应该更关注作品的品质、价值和原创，指导会员向更精致、有意义的方向创作。

配备专业导师和管理人员

说到指导，就需要有经验丰富的高手了。如果有一个专业人士、知名人士常驻创客空间，定期讲座。讲座不能只泛泛地讲一些节能环保了、某个产品的发展史之类的，所讲内容是贴近现实的、启发思考的、深入专业的，然后会员可向他提问、交流。创客空间目前看似没有项目管理人员来安排活动和制作项目，大家都随自己的想法来玩。如果聘用项目经理，以产品开发为目的，会员们需要考虑的东西会更多。开发的过程不是随意焊接和拼装，而是要花很多时间和精力去做技术、做设计。产品出来后的成就感和产品自身的价值都是很大的，也就是说产品自身的价值会给会员带来另一种更高层次的成就感。比如会员做出一件东西，一种情况是摆在桌上自我欣赏，另一种是摆在精品店里出售，后者可以带来更大的喜悦和更高级的经验。只有领着大家做，把不同技能的会员组成团队，才能做出精品。会员可以从中学到精品制作的思路和方法，这时它有没有商业价值已经不重要了，重要的是这件精品为会员创造的精神价值。我希望创客空间能让其会员感觉到：去创客空间玩就是和自己在家玩不一样，我去创客空间能玩出水平、玩出风格、玩出特色。

以人做推广，用作品立碑

创客空间创立至今，他们都做了些什么，最好的成绩就是培养人才，同时用人才的名气反过来推广创客空间。这是很有意义的宣传。借此举个例子：某一个小学生在创客空间经过一年的摸爬滚打，最后在某学校举办的比赛中获得一等奖。或者几名创客组成团队，创业成功，建立了自己的公司。这些都是好的宣传案例，让大家不只看到创客空间，还看到它培养人才的能力，吸引更多人加入。创客空间想打开大众市场，它还要有拿得出手的原创作品。商业级的开发和以玩为目的的制作，所考虑的点是不一样的。商业级产品开发要考虑使用人群、稳定性、抗干扰能力、工作环境、成本，生产过程以及后期的升级和维护等。还会考虑生产工艺、元器件选型，品质检测，供应商选择。这是一个很复杂的工程，创客空间需要这样的原创作品来为自己立碑，让作品证明能力，让作品推广空间。

商业化经营，可持续发展

上面我一直在强调人和作品，除了可以借此推广创客空间，还可以借输出人才和作品转换成商业价值，使创客空间可以往独立运营的方向迈进。创客空间培养的人才可以成为新导师和管理人员，依托于他们对创客文化的熟悉，可以更好地发展壮大。更多的人才可以输送到赞助创客空间的公司中，为赞助公司提供人才，让赞助公司看到回报。将创客空间的作品转换成具有商业价值的产品，再与代理商合作销售，收获的利润再用于空间的发展。会员也可以借此机会创业，成立工作室或公司。我觉得如果创客空间朝着这个方向发展，会很有发展空间和影响力。

总结

创客空间要想在中国发展，让更多人接受，我认为需要关注以下几点。一个是它能产生的价值，再就是它能用作品说话，能证明给别人看，让人感受到来这里“玩”是不一样的。要引进专业人士来指导会员，让会员有目的地玩，玩得更有意思。虽然一个城市总有足够的人数来成为创客空间的会员，但是如果没有持续的内容，没有“高人”的驻扎，没有品质的保证，没有可持续的经营模式，随着时间的流逝，创客空间可能会慢慢消失。

之所以说了这么多创客空间的问题，因为我对它还是关注的，因为它对于其他想以此创业的人们有很好的参考价值。其实我也很想做类似的俱乐部组织，但是我觉得创客空间的模式目前还不太适应国情，同时我也在摸索新的经营模式。对广大爱好者来说，创客空间如果能发展到全国各地，那肯定是件好事，它是除了高校社团、培训机构、个人团体之外的另一个形式独立、思维活跃的创意空间。但它能否提升品质、适应本土、发展壮大呢？我会不断关注并在杂志上发表评论。希望创

客空间这件“洋宝贝”通过更多人的尝试和改进，能做得越来越好，为国内的爱好者们服务。

示波器ABC

示波器是电子实验室中最常见的仪器之一，它弥补了万用表对频率较高的交流信号测量的不足，同时可以比较全面地展现交流信号在时域内的信息，即信号电压随时间变化的情况，因此，示波器是电子实验及产品研发、验收、论证的好帮手。大到航空航天尖端领域，小到家门口的电器维修小铺，都能看到各种示波器的身影。由于科技的发展，早期产品和入门级的示波器价格已经非常便宜，不少电子爱好者的个人工作台上都开始出现了示波器。会用示波器、用好示波器、玩转示波器，本系列文章将为读者带来一个从入门到提高的示波器教程。

示波器入门第一课

◇杨法（BD4AAF）

我们先来了解示波器的基础知识以及示波器上主要按键、旋钮的作用，使你手里的示波器能听话地工作起来。

示波器的作用

传统示波器主要用来显示交流信号的波形，同时也可以用来观察和测量信号的幅度和频率、周期。示波器属于时域仪器，主要测量信号幅度与时间的关系，示波器显示的波形实际上就是信号电压幅度随时间变化的情况。通过示波器我们可以了解信号完成一次振荡所耗费的时间即周期。周期与频率是倒数关系，周期采用常规的时间单位，频率采用专用的Hz（赫兹）作为单位。习惯上将频率较低的信号用周期单位表示，频率较高的信号，尤其是射频信号，用频率单位表示。

与示波器应用领域不同，频谱仪是从频域的角度测量信号的特性。示波器在一定程度上可以代替高频电压表和频率计。现代示波器虽然采用全新的结构，但实现的主要功能还是与传统示波器相同。现代示波器最大的进步之处是依托数字化科技，普遍具有自动测量功能，使测量的准确度和易用性都得到了很大的提高。现代中、高档的示波器除了支持测量更高频率的信号并且提供更高速度和精度的测量外，还开始集成逻辑分析仪功能。最新的示波器产品已开始涉及频域方面的测量。

示波器的带宽是很多用户最关心的一项指标，带宽表示一台示波器支持测试的最高频率信号的能力。按照传统习惯，带宽是标志示波器档次的重要指标，通常指模拟前端放大器带宽。按照国际通行的定义标准，当示波器输入的正弦波信号随着频率的提升测量幅度衰减至原信号幅度的0.707时的频率点（-3dB截止频率点）称为示波器带宽。

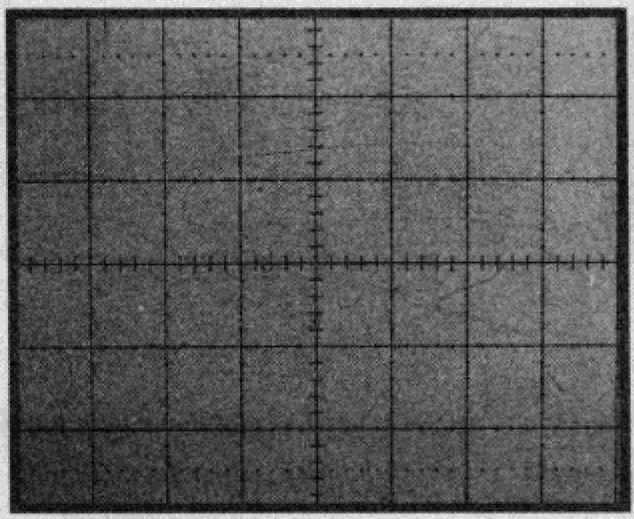
从定义上可知，当测试频率接近示波器标称带宽时，测量信号的幅度已经明显小于信号的实际幅度，此时示波器显示出来的波形类型基本不变，正弦波还是正弦波，方波还是方波，周期和频率也不变。实际上，如果用户要对信号进行精确测量或者打算用示波器替代高频电压表进行准确的幅度测量，那么，示波器的标称带宽至少比实际测量信号频率高两倍以上。早期的示波器带宽达到20MHz已经是中档机的标志，超过100MHz则是高档设备。随着科技的发展，现在100MHz带宽的DSO数字存储示波器只能算入门级产品，主流中档示波器工作带宽至少在300MHz以上，而带宽至少达到1GHz才有资格跻身高档产品的行列。现代数字示波器除了带宽以外，工作模式、取样率、测量速度、测量精度、存储深度、测量通道数量、扩展测量功能也是标志示波器档次和性能的重要指标。

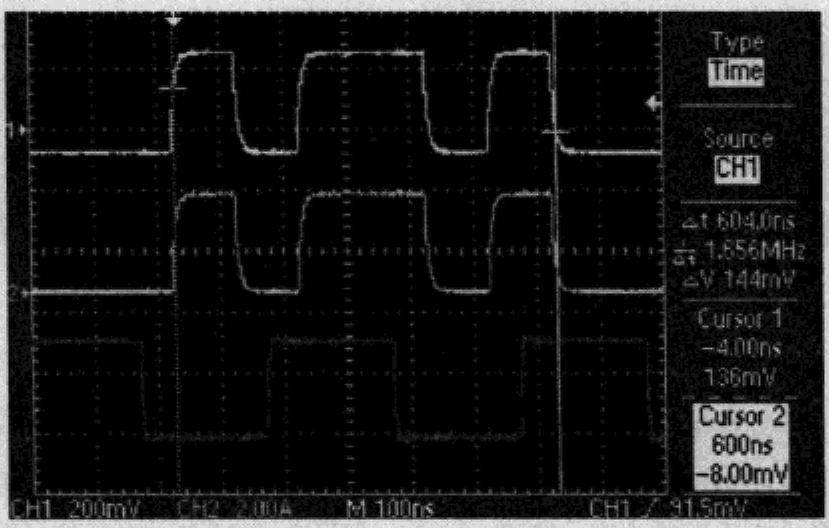
详解示波器面板

示波器历经很多代发展，现代示波器从电路结构到原理与早期示波器有了本质的区别，但在很大程度上沿袭了传统示波器的外观布局。示波器面板主要可以划分为三大区域：显示屏区、操作区和输入连接器区。

1. 显示屏区

显示屏从早期的单色示波管到现在的彩色液晶屏主要都是用来显示波形之用，早期的CRT示波管上都有刻度，没有自动测量功能，这些刻度是供手动测量参考读数之用。一般垂直方向的刻度用来表示幅度电压轴，水平刻度用来表示时间轴。例如，示波器屏幕上显示出一个方波，垂直方向上的幅度有3格刻度高度，若示波器单位幅度电压设置为0.2V/DIV（即每小格幅度代表0.2V电压），那么此时方波的幅度就是3×0.2V=0.6V。但自从示波器有了自动数字化测量和屏幕直接读出功能后，


示波器显示屏上的刻度



数字示波器的显示界面

显示控制按钮

就几乎没人再去数格子进行手工测量了，直接看屏幕上自动测量的结果就可以了。到了后期，采用单片机控制和电视显像管的示波器就不再在显像管上出现刻度了，但为了照顾观看波形的习惯，大部分数字示波器都以电脑模拟画面的形式继续提供可选择的背景刻度坐标，这种习惯一直延续到目前主流的液晶显示屏的示波器上。

使用示波管的示波器和使用液晶屏的示波器在屏幕操作上有些不同。使用示波管的机型有聚焦和亮度两个调节旋钮，以确保波形显示清晰、亮度适中。聚焦调节是CRT类显像管特有的操作，聚焦调节与显示波形和字符的清晰度直接相关，英文标示面板的机器上聚焦调节旋钮用英文“FOCUS”标注，一般在显示屏周围可以找到它。一些老化的示波管示波器聚焦会出现问题，例如屏幕不同区域的聚焦不同，这就不是面板聚焦调节可以解决的问题了。

亮度调节与波形显示的明亮程度有关，很多示波器在不同模式下显示波形图像的明亮程度会有很大的变化，所以需要适时调整。不建议示波管的亮度设置得过亮，否则对示波管的使用寿命有一定的影响。英文标示面板的机器亮度调节旋钮用英文“INTENSITY”标注，一般也在显示屏周围。液晶显示屏没有聚焦的问题，自然不设聚焦调节，所以对于液晶屏主要调节亮度和对比度。亮度调节通常用来设置液晶屏背光强度，对比度调节用来设置液晶屏的反差。液晶屏的亮度和对比度一次设置好后，以后几乎很少需要修改，就像大家现在使用的电脑液晶显示屏一样。早期有的液晶显示示波器设有专门调节亮度和对比度的旋钮装置，可能由于实际使用率很低，加上现代示波器操作面板的设计崇尚精简，所以目前主流产品都把亮度和对比度调节功能放到菜单设定中去了，不再设专门的旋钮。

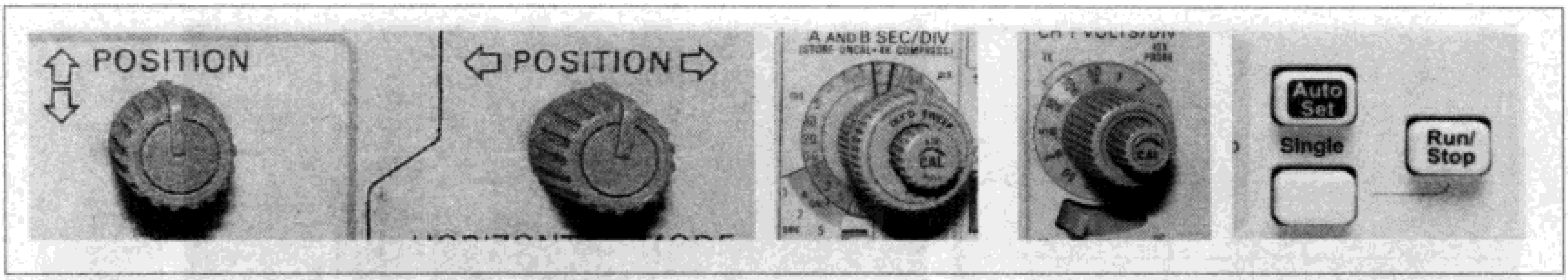
大液晶屏总能吸引眼球，博得用户的好感，现在主流入门级液晶示波器都开始由前期的5.X英寸液晶屏向7英寸甚至8英寸宽屏液晶发展，同时基本完成了由单色液晶屏向彩色液晶屏的过渡。在增大液晶屏面积的同时，提升屏幕显示分辨率和图像解析度才是性能、档次的真正提高，一般5.X英寸液晶屏的分辨率多在320×234，而7英寸高分辨率屏幕已经可以达到800×480的水平，一些中高档的示波器则早就拥有1024×768的分辨率和10英寸左右的显示屏面积。新型的示波器显示屏不仅用于显示波形，也用来显示各种操作设置和测量信息，成为综合显示界面。

2. 操作区

操作按键旋钮区是示波器操控的核心部分，虽然不同厂家不同时代的示波器按键、旋钮的分布有所不同，而且现代示波器流行简洁面板设计，并引入了菜单设置机制，取消了很多不常用的功能，专用旋钮按键改用菜单进行设定，初看，按键、旋钮较传统示波器少了很多，但最基本的一些功能旋钮是必然存在的。

POSITION 垂直位置控制旋钮和水平位置控制旋钮。它们是用来调整显示波形上下垂直位置和左右水平位置的，通过位置调节，可以将波形偏离中心显示区域，定位在屏幕特定位置上。英文标示面板的机器位置调节旋钮用英语“POSITION”标注，垂直调节旋钮多用上下三角或箭头符号标示，水平调节旋钮多用左右三角或箭头符号标示，这样的标示还是很形象化的。一般示波器每个通道都有独立的垂直位置调节旋钮，而水平位置调节旋钮多为共用。有的数字示波器水平位置调节旋钮在回放波形时还用于进度往复控制。通过对显示波形上下位置的改变可以方便清楚地在一个屏幕上显示各个通道的信号波形，有利于信号的对比。

SEC/DIV 时基旋钮。它是用来设定示波器画面水平方向时间轴时长的，关系到波形显示的展开程度。例如示波器的一个屏幕正好完整显示信号一个周期的波形，如果我们将时基调慢一倍，那么在屏幕上就能显示出两个周期的波形。在屏幕大小



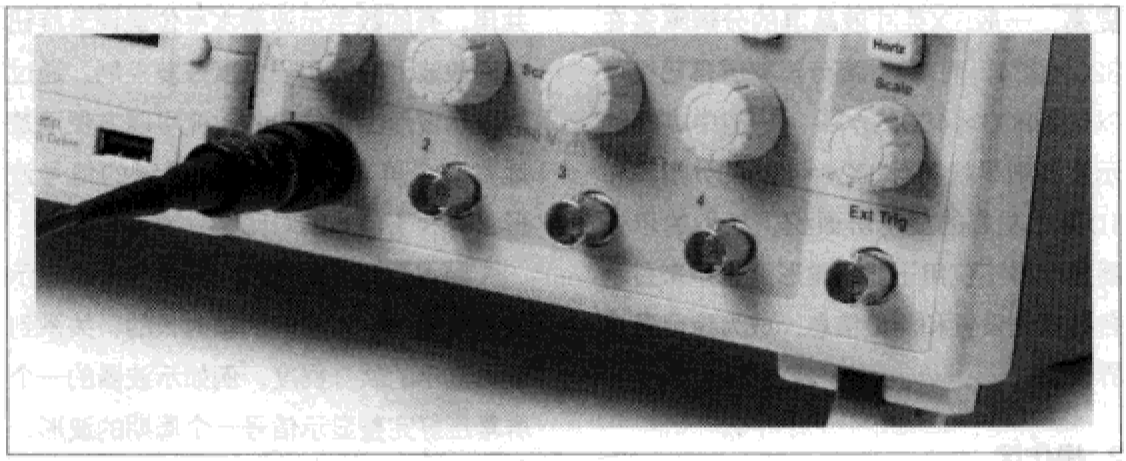
操作区旋钮、按键

不变的前提下，显示信号波形重复的周期越多，显示的细节越少，所以在对信号观察时，需要设定适当的时基，使波形尽量完美地展现出来。英文标示面板的机器时基设置旋钮用英语“SEC/DIV”标注，中文化的面板则直接用中文标示“秒/格”。带宽越宽的示波器提供的最高时基速度也越快。设置时基不正确，严重的情况会导致无法看到波形。常规的示波器，无论是双通道还是四通道，都是单时基的，只有一些特殊的示波器具有双时基功能。多通道的示波器主要的作用就是对比不同测试点的波形时序情况，基于相同的时基时间轴是时序对比的基础。

VOLTS/DIV单位幅度电压设定旋钮。该功能是设定示波器画面垂直方向电压幅度轴上每一格刻度代表的实际电压，关系到波形显示的实际幅度。例如测量一个幅度为2V的信号，如果将单位幅度电压设置为1V/格，那么显示出来的波形图像垂直幅度会在2个格子高度的水平。如果将单位幅度电压设置为0.5V/格，那么显示出来的波形图像垂直幅度就会在4个格子高度的水平。虽然输入信号幅度没有改变，但示波器显示出来的幅度（俗称“大小”）会有改变。一般为了便于观察和测量波形，建议调节单位幅度电压设置使得波形图像占整个示波器画面的60%～80%为宜。对于没有自动测量功能的示波器，按照实际情况设置相对较小的单位幅度电压值会使显示出来的波形图大一些，有利于利用刻度人工读数，减小读数误差。对于有自动测量功能的示波器，合理设置单位幅度电压主要有利于波形图的显示，包括细节的显示。

英文标示面板的单位幅度电压设置旋钮用英语“VOLTS/DIV”标注，中文化的面板则直接用中文标示“伏/格”。当测量大信号时，需要选择较大的单位幅度电压，当测试微弱小信号时，需要选择较小的单位幅度电压，以确保显示出来的波形便于观察。

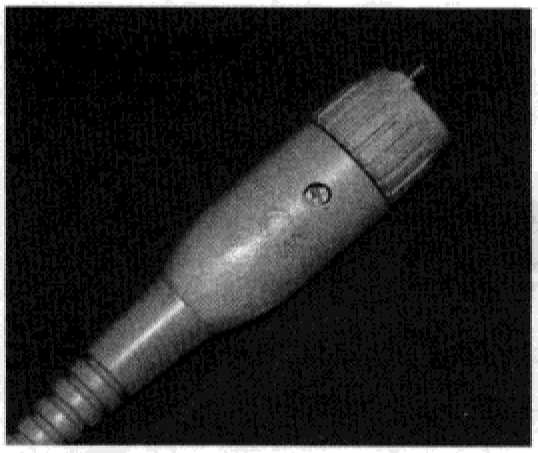
AUTO SET 示波器支持的最小单位电压幅度与机器的灵敏度设计有关。当输入信号幅度特别大，超过示波器显示范围时，可以额外利用衰减器对信号进行衰减，相当于等比例缩减信号。通常使用衰减器只影响信号的幅度，不影响信号的波形形式和频率、周期。当被测信号过于微弱，可以额外使用低噪声放大器对信号进行放大增强。理论上，使用放大器也只影响信号的幅度。一般示波器每个通道都配置有独立的单位幅度电压设置旋钮。



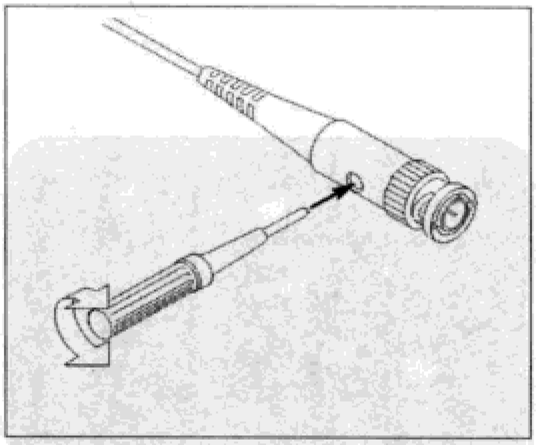
示波器输入连接口

AUTO SET 对于比较新一点的现代数字存储示波器，都具有一键自动设置功能。该功能基于机器对输入被测信号的频率和幅度测量，自动设置适合的时基和单位幅度电压，使信号波形较好地显示在屏幕上，省去了用户一系列传统手动设定的麻烦，简化了操作，提高了效率。用户可以在自动设置的基础上微调时基和单位幅度电压，使显示的波形达到最理想的效果。自动设置在英文标示面板会有“AUTO SET”字样，中文标示面板会有“自动设置”字样。有自动设置功能的示波器对于新手来说非常容易上手。

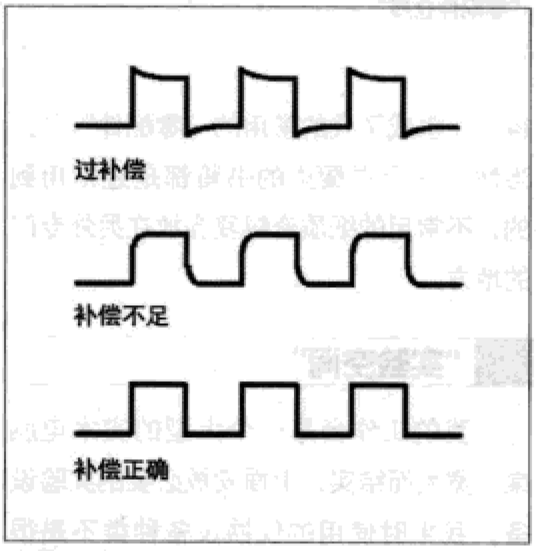
RUN/STOP数字存储示波器特有一个运行/停止按键，英文版界面为“RUN/STOP”，是用来控制示波器采集波形工作的启停。如果用户需要实时测量，就应该将示波器保持在连续运行状态，这时屏幕上显示的是活动的实时数据波形。在运行过程中按运行/停止按键，示波器会停止采集波形，大多数示波器都会停留在最后一个画面上，给人画面冻结的感觉。在停止状态下示波器可以进行波形回放、缩放等操作。



示波器探头



手动调节探头补偿电容



方波失真情况

探头补偿校正输出连接

3. 输入连接器区

输入连接器区是用来连接示波器探头的地方，普通的示波器探头多用BNC接口。常见的示波器有双通道示波器和四通道示波器，每个测试通道都可以独立安装一个探头。每个测试通道都会用数字标明加以区别，英文面板的机器会标上“CH1”、“CH2”，中文面板的机器会标上“通道1”、“通道2”。

一般在探头接口区还有一个外部触发接口，也是BNC形式，主要用于扩展应用，所以看起来示波器的BNC接口通常会比它的通道数量多一个。实际应用中，往往只需要使用一个通道进行测量，不用的通道可以通过选择开关或菜单设置关闭。

此外，有的数字存储示波器有USB插座，可以插入普通U盘用来存储一些测量的画面。以前一些中高档的示波器也有画面保存功能，但使用的存储介质是3.5英寸软盘，现在随着U盘成为移动存储的主流，很多示波器都开始支持U盘存储。有的示波器有USB传输接口，通过标准USB电缆可以与电脑连接，将示波器作为数据采集前端，电脑作为数据处理后台，配合电脑软件进行一些数据采集记录的扩展应用。通过USB与电脑连接，速度要远快于普通传统RS232串口传输，同时成本也比传统的GP-IB接口便宜得多。

示波器探头的校准与使用

当你使用一副新的示波器探头时，有必要对探头进行手动调整，以匹配探头与当前示波器的输入通道，使探头处于正确补偿状态下，将引入的波形传输失真控制在最小范围内，同时也能初步检验示波器测量误差是否控制在允许范围内。

具体做法是，将示波器探头安装到示波器工作通道上（通常用得最多的是通道1），找到示波器面板上的探头补偿校正输出点，英文标示面板会有“PRB ADJ”字样，中文标示面板会有“探头补偿”之类的字样。在补偿校正输出点边上，通常还会有文字标明输出波形、电压、频率。将探头与补偿校正输出点有效接触，有的示波器允许探头直接勾在补偿校正输出点上。调整示波器，使得屏幕上显示出校正信号的波形，如果示波器支持自动设置功能，可方便地按动“Auto Set”键。如果示波器支持自动测量功能，可以同时开启频率测量和幅度测量功能。观察示波器屏幕显示出的方波是否工整（一般校正信号都是输出标准方波），如果显示方波有明显的失真，出现过补偿或补偿不足，可以手动调节探头上一个类似螺丝的补偿电容，使示波器屏幕显示出来的方波波形恢复工整。对比示波器自动测量得出的频率、幅度和电压数据，看看与机器面板上标注的校正信号数据是否在允许误差范围内。通过上述校正，不但可以使探头处于正常补偿状态下，还可以大致判断探头和示波器主机有没有明显问题。

有的示波器配套的探头为1:1和1:10两用探头，探头上有个小开关，用于切换。1:10探头或者说工作在1:10模式下的探头实际上相当于串联了一个1:10的衰减器，信号经过探头，幅度会缩小10倍，但波形类型和频率特性不会改变。如果使用1:10探头，示波器的幅度电压读数会缩小到原来的1/10，其他数据不影响。有的示波器在菜单中可以手动设置探头参数（衰减量），这样示波器在显示自动测量数据时会进行修正，直接显示真实的幅度电压，无需用户再进行换算。有的高级一点的示波器和探头支持自动识别功能（一般仅限固定比例探头），在探头BNC接口上设计有识别电路，示波器识别后自动修正显示数据，方便用户直接读取结果，这种自动识别功能要求示波器与探头都支持该功能才有效。1:1模式下的探头工作带宽较小，大多只有5~6MHz带宽，一般都推荐使用1:10模式，双模式探头标称的工作带宽都是指在1:10模式下的。

晒晒我的工作室／实验室

◇时刻（BA6BF）

彩虹升起的地方

我为我的DIY作品设计了一个彩虹LOGO，寓意雨后初晴——我们国家沉寂了几十年的业余无线电活动，在改革开放后终于雨过天晴。

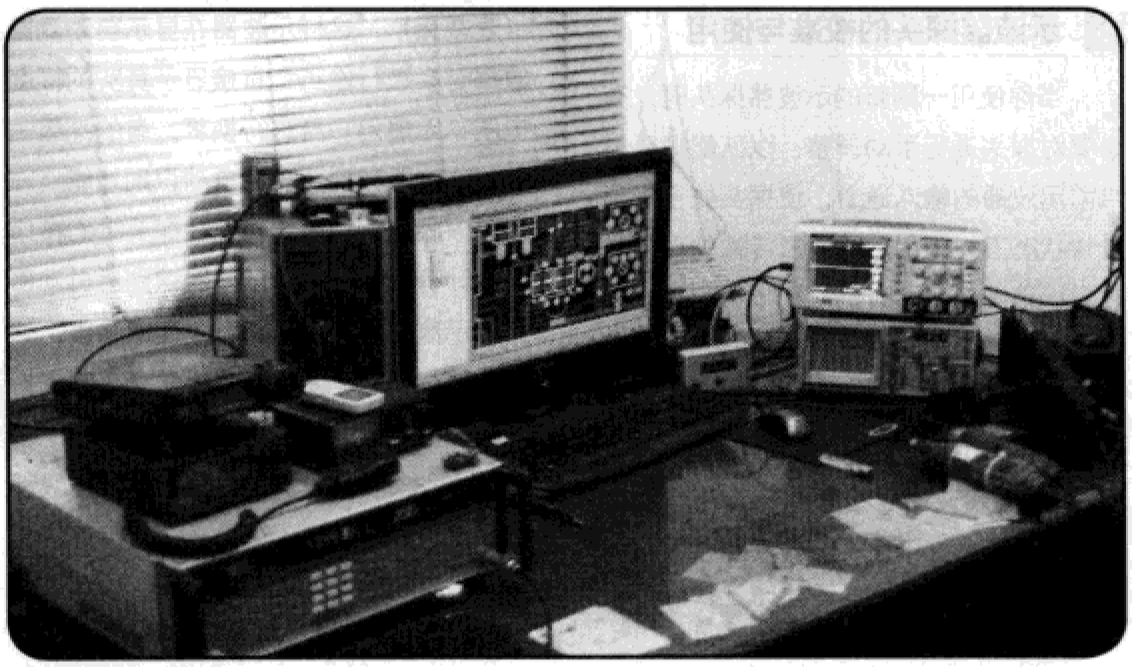
从小爱好无线电，一直都梦想着有一个属于自己的空间，在这个空间里有我需要的零件和仪器。大学毕业6年后，这个愿望才得以实现。买房子的时候，就定下来要复式楼，楼上、楼下两层，楼下是生活区，楼上则完全是我的天地。装修房子的时候，楼上60m²的空间被分成了两部分，一个是我的实验室，一个是装配空间。实验室除了是我进行电路设计、制作的实验空间，同时也成了我的零配件存放仓库。

“零配件仓库”

这个“零配件仓库”依墙打造了很多壁柜，参照中药房药柜的设计方式，壁柜被分成了许多小格子，每个格子存放一类零配件。靠近地板有比较大空间的柜格，可以存放比较大型的配件及暂时不用的仪器。把零件分门别类地放置在相应的格子里，实验中需要什么零件，就直接去相应的格子中取用，非常方便，也便于清理和查询。因为经常组织一些业余无线电套件，需要的零件数量和种类都比较多。所以一个大的零件存放场所，对于我来说是非常重要的。通常我会把各种参数的电阻、电容大批量采购回来，比如全系列的电阻、电容什么的，因为每种采购量大些，价格就会更便宜。

书橱也在工作室中，我喜欢的书籍及各种文档资料在实验室里都能“随手可得”，也成了我的常用的“零配件”了。当然，这个书橱里的书籍都是经常用到的，不常用的纸质资料我会放在另外专门的地方。

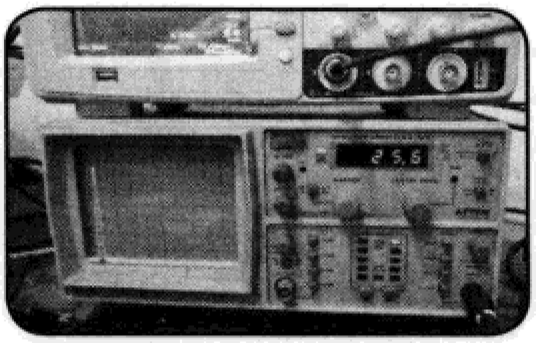
“零配件仓库”


我的工作台

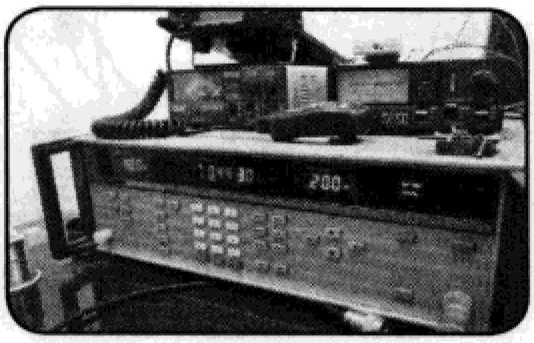
“实验空间”

我的工作台是一个大型的实木电脑桌，宽大而结实，上面安放必要的实验设备。我平时使用的仪器设备种类不是很多，数量也比较少。我比较感兴趣的是高频模拟电路，尤其喜欢进行短波电台的实验及开发研究。所以，射频频谱仪对我来说是必不可少的。

进口的高档频谱仪对于我这样的业余爱好者来说，价格太过昂贵，自然可望不可及。国产的AT5011也就成了我的主力设备，AT5011是我在2005年购买的，差不多花去了当时2个月的工资。虽然AT5011的精度和功能都无法同高档产品相提并论，但对我来说也够用了。在这台



我的频谱仪



我用的MSG2600标准信号源

我的数字示波器

NK-Q10A短波电台

频谱仪的帮助下，这几年来我相继开发出10余款在国内外受到业余无线电爱好者好评的电路，比如KN-900、KN-Q7、KN-Q8、KN-Q9、KN-Q10A等。

因为一直关注模拟短波收发信技术，所以我对频谱仪的偏爱远胜于示波器。示波器观察波形的失真情况一般只能定性，而无法定量。波形的失真，在频域中就表现为杂散分量的多少，而频谱仪却可以对波形的失真进行定量的测量。对于要求严苛的高频发射电路来说，精确的杂散辐射抑制指标是必须要掌握的。

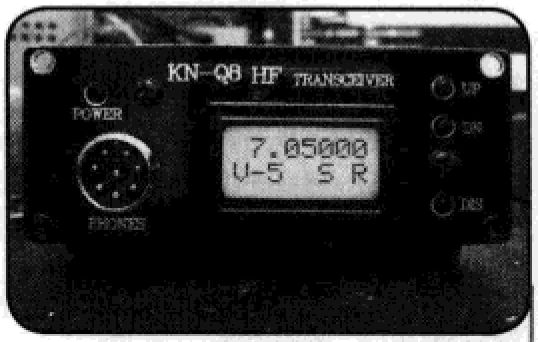
频谱仪又名频谱分析仪，主要用于射频和微波信号的频域分析，包括测量信号的功率、频率和失真产物等。当我们把信号输入频谱仪，就可以直接在屏幕上看到输入的信号在频率上的分布情况。比如，当输入的是一个纯净的正弦波信号的时候，在频谱仪上看到的就只有单一的基频信号峰，输入方波的时候，在频谱仪的屏幕上就可以观测到基频以及基频的N次谐波在频率坐标上的分布，从而可以验证方波是由基频的N次谐波组成。我们在实验高频发射电路时，希望输出的信号中除了基频信号以外，其他的杂散信号及谐波分量越少越好。为此，我们可以把频谱仪的探头通过一个功率衰减器连接到发射机的输出端，然后一边观测频谱仪上的显示，一边调整发射机各单元谐振电路，使得频谱仪上显示的基频信号指示最大，而杂散及谐波信号指示最小。因为频谱仪能把所有信号同时显示在屏幕上，所以有一台频谱仪来调整发射机，实在太方便不过了。

尽管如此，示波器还是需要的。因为我在实验中可能会需要测定一个比较精确的电平值，AT5011频谱仪在测量相对值上比较方便，而测量具体电平幅度上就无能为力了。2006年，我从爱好者手上购买了一台二手的岩崎SS-7611模拟存储示波器，看中它的主要原因是它内置了等精度100MHz频率计，并且电平值可以从屏幕直接读出。看波形不重要，对电平的精确测量才是我最需要的，所以示波器对我来说就是一个高频毫伏表。不过这台SS7611毕竟年久失修，输入电控衰减器似乎有点接触不良了。于是2011年我重新购置了一台带宽为100MHz的国产数字示波器，虽然精度不如SS7611，但是对于我的应用来说，却也够用了。

对于高频模拟电路的实验，一台可以

KN-Q10A

频率范围：3.5~3.9MHz 7.0~7.3MHz 14.0~14.35MHz 21.0~21.45MHz
频率步进：10Hz/100Hz/1kHz/10kHz/100kHz/1MHz
接收灵敏度：优于0.2μV/10dB
中频带宽：100Hz~3kHz连续可调
工作模式：LSB/USB/CW
发射功率：15W额定
发射杂散抑制：优于40dB
内置自动键
内置数字SWR表
内置电压表

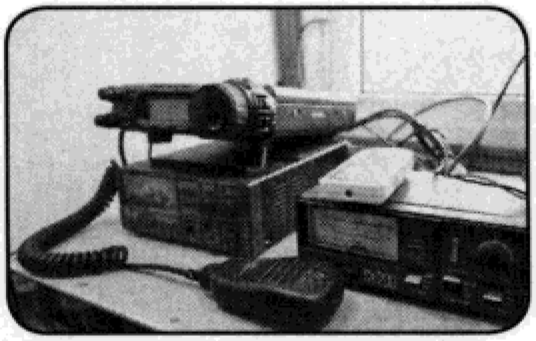


KN-Q8短波电台

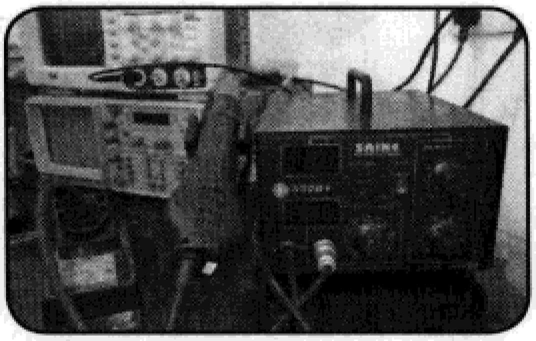
KN-Q8

频率范围：7.0~7.3MHz 14.0~14.35MHz
频率步进：10Hz/100Hz/1kHz/10kHz/100kHz/1MHz
接收灵敏度：优于1μV/10dB
中频带宽：2.3kHz
工作模式：LSB/USB/CW
发射功率：5W额定
内置自动键

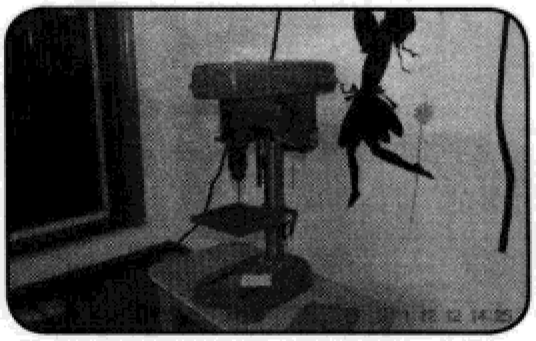
提供频标级的标准信号源是很有必要的。2009年，我从福建的一位朋友那里购买了一台MSG2600标准信号源，后来又从网上淘了一个FE-5680A铷时钟模块给它做基准时钟，可以提供1Hz以内的频率精度。标准信号源可以用来测量接收机的灵敏度、动态范围及选择性等指标，配合示



我用的全波段全模式车载电台FT857D



常用的热风枪和焊台



我用的小型工业台钻

波器还可以进行信噪比的测定。在实验发射机的时候，我喜欢用信号源推动高频功率放大器，来测量和验证放大器的增益和线性等指标。因为MSG2600的输出电平可以从13dBm一直连续调到-130dBm，对于做高频功率放大的实验非常有效。对喜爱实验高频发射电路的朋友来说，一个输出幅度可以连续按照精确标定进行调节的信号源是很有必要的。在检修一些电台的时候，一个值得信赖的信号源也可以快速地帮助我们圈定故障的范围。

无线电有很多种玩法，我的朋友中有许多属于仪器玩家，他们喜欢收集各种仪器，尤其喜欢精度极高的仪器。而我属于仪器使用者，仪器对我来说不是目的，而只是一种工具。所以，我的仪器数量和种类都很少，也没有重复的仪器，但每一件仪器都能用得“物超所值”。

制作少不了电烙铁，我的电烙铁是网上购置的热风枪和调温电烙铁一体的焊台，200多元的价位虽然谈不上好，平时用来焊接晶体管电路却也很顺手。只是感觉焊台的体积稍微大了点，我拆开看过，里面很空旷，完全可以做得小巧一些，搞不懂为什么弄得那么大。

作为一个“铁杆”的业余无线电爱好者，工作台上要是没有一部短波电台实在是一件很扫面子的事情。但是工作台面积有限，大型电台都被我收藏到了柜子里，只留下一部全波段的小车台FT857D在桌子上。FT857D是YAESU公司生产的HF/VHF/UHF全波段全模式车载电台，短波及6m波段有100W输出，V/U波段也有几十瓦的功率，足够闲暇时联络使用。性能虽然一般，但是难得的是它体积极小，随便放在桌上实在不占地方。

我的工作室里到处都是电源插座，各种用电设备可以就近得到足够的电力，这也是在装修的时候，我跟装修公司特意交代的。当然，付出的代价也很高，这套房子使用的电线和插座远远比一般住宅要多得多。最初装修公司的设计师很不能理解为什么要这样，但实际使用下来，我却仍然觉得不太够用。所以，我建议爱好者在装修工作的时候，如果条件允许，应该尽可能在需要用电的各个角落都装上电源插座。电线在允许的情况下也要尽量使用粗一点的，一般使用截面积$4mm^2$以上的线是最低标准。铺设电线的时候，应该严格按照安全标准，把零线接好。因为按照标准规格生产的用电器，机箱都是接零线的，并且由于EMI滤波器的存在，如果220V插座上没有接零线，那么机箱上就会对地带有110V交流电压，用手触及，有可能会有不愉快的触电感觉。

“装配加工车间”

楼上的空间除了作为实验室和“仓库”以外，还有我的装配及加工车间。当然，一些比较大型的或数量比较多的原材料也堆放在这里。外间可使用的面积大约$40m^2$，有一台小工业台钻，用来进行金属机箱的钻孔等加工。这里还可以进行一些简单的钳工作业，2009年我制作的KP800MAN电子管短波线性功率放大器，就是在这里完成。如果地方小，制作这样的大型机器是不可想象的。

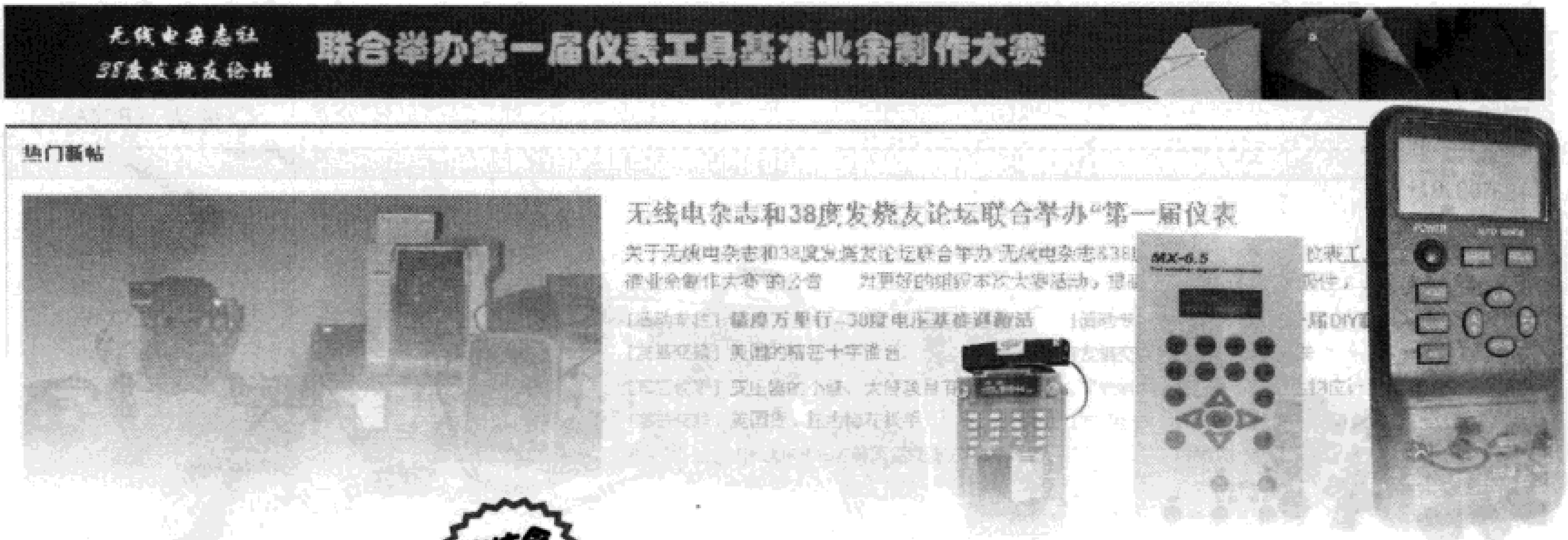
因为空间足够大，所以还有一些健身器材放置在其中，比如一个跑步机，实验疲倦的时候，一边听广播，一边在上面慢跑一会。无论是工作还是爱好，劳逸结合很重要啊。

希望我的介绍能为大家在布设自己的工作室时提供一些有益的帮助。

KP800MAN电子管短波线性功率放大器

KP800MAN电子管短波线性功率放大器

波段范围：160m/80m/40m/30m/20m/17m/15m/12m/10m　**输入功率**：100W　**输出功率**：800W
电子管型号：FU80　**阳极电压**：2800V　**内置电源**　**内置输出匹配电路**



仪表工具和基准业余制作高手 集结令

《无线电》杂志和38度发烧友论坛联合举办

第一届仪表工具和基准业余制作大赛

为了调动工具仪表发烧友及DIY爱好者参与各种制作活动的热情，也为了给爱好者们提供DIY作品展示和交流的平台，本刊与38度发烧友论坛（bbs.38hot.net）联合举办"第一届仪表工具基准业余制作大赛"。根据参赛作品的情况，本刊及38度发烧友论坛将邀请专家评委评选出优秀作品一、二、三等奖，并通过网络投票方式评选出"爱好者最喜爱的作品"等主题奖项，并对获奖爱好者进行奖励。优秀参赛作品除可在评选中获奖外，还将择优在《无线电》杂志上发表。希望广大爱好者积极参加，共同推动爱好者业余制作水平与实用性能的不断提高。

大赛日期 2012年1月1日 2012年6月30日

参赛要求

1. 参赛作品应以仪器仪表、基准类为主，其他电子工具类作品也可参赛。

2. 参赛作品可以是个人制作或对相关产品进行的性能改进、优化等内容。

3. 参赛作品需要配置必要的图纸、图片和文字说明。

4. 作品应包括设计、改进、PCB制板、制作、测试等内容。

5. 参赛作品需要配置必要的原理图纸、清晰的DIY实物图片和准确并尽量详细的文字说明等。

6. 参赛作品倡导新颖性、实用性、创造性和DIY精神。

7. 参赛作品不得剽窃、侵犯他人产权或者具有任何明显的争议存在。

8. 参赛作品数量不限，每人可同时有多件作品参赛。

9. 仪表、基准类参赛作品作者尽量提供真实的测试数据。

10. 要进行数据测试的部分入围参赛作品的寄送时间将另行通知，测试评选完成后即归还原作者。

作品提交方式

1. 参赛作品请在38度发烧友论坛（bbs.38hot.net）"活动专栏"上传发布。

2. 作者也可以将作品以邮件形式发送到《无线电》杂志邮箱：radio@radio.com.cn，并在邮件题目上注明"参赛"字样。

其他说明

1. 评审环节将根据需要对部分入围作品进行统一的测试，测试数据作为评奖的依据之一。

2. 参赛作品的技术难度、性能指标、工艺水平、实用性等将作为评选依据。

3. 根据活动进展情况，活动结束后，将采用抽奖方式产生幸运投票网友奖1~3名，以鼓励爱好者参与活动的积极性。

4. 比赛的奖品提供、评委组成等信息将陆续在《无线电》杂志网站与38度论坛网站公布，请参赛爱好者随时关注网站与杂志信息。

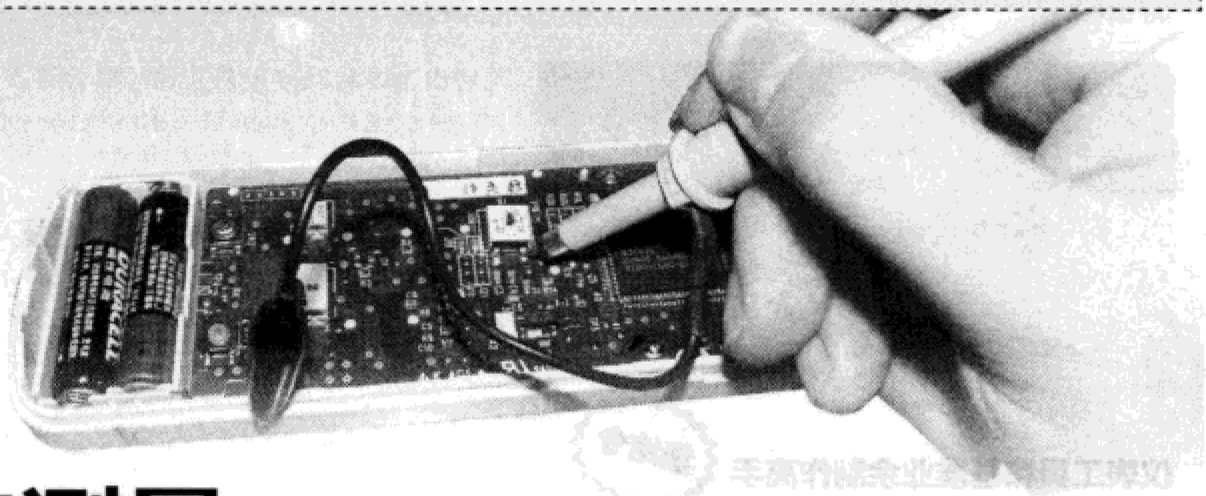
5. 本次比赛的主要目的是为广大工具仪表发烧友与DIY爱好者搭建一个分享、交流、提高的平台，比赛过程中有何意见与建议，欢迎爱好者随时提出，我们将及时改进、完善！

第一届仪表和基准业余制作大赛组委会

2012年1月

示波器ABC

◇杨法（BD4AAF）



玩转示波器基础测量

2012年第1期的文章中，我介绍了示波器常用设置旋钮、按键的基本作用和一些基本知识，接下来我们进一步了解示波器在实战测量信号前的一些准备工作。

进一步认识示波器探头

探头是连接示波器主机与被测信号的桥梁，正确使用探头，不但能确保测量的准确性，而且能给测量带来不少方便，并减少对被测电路的影响。示波器每个测量通道都需要连接独立的探头使用，大多数标准无源探头都是通用的，有些高档示波器配有具有数据接口的探头，这类探头多为高端专业产品。

探头在设计时也具有带宽指标，如果使用带宽过小的探头去测量频率很高的信号，就会造成信号波形的失真。一般随示波器提供的原厂探头已经考虑到这个问题，因此都会配上适当带宽的探头，对于需要增配探头的用户则需要注意这个问题。现在，由于大量国产化，100MHz探头的价格已经很便宜了，500MHz以上的进口名牌探头依然很贵。有些劣质的廉价100MHz探头性能不佳，在测量较高频率信号时对波形影响较大，不适合用于精密测量，选购时一定要注意。从技术上讲，配用高于示波器带宽的探头也能正常测量，只是花费的成本高了一些。

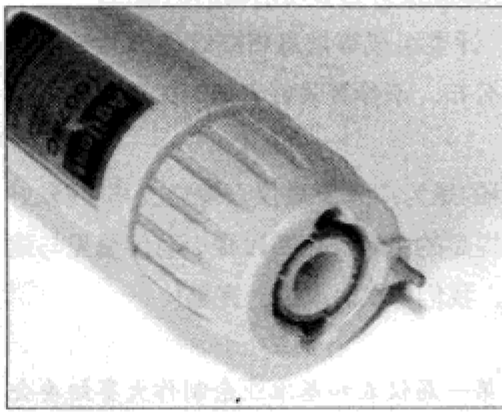


图1 带有伸缩触点的连接器部分

普通的100MHz主流探头有固定衰减率和双衰减率之分。固定衰减率的探头常见的有10:1和100:1两种规格，用×10和×100表示，一般常用的是10:1衰减率的探头，100:1的探头多是高压探头。探头还有个耐压指标，对于高压探头，这个指标比较受重视，因为直接关系到人身安全。我们在有些固定衰减率探头的BNC连接器部分看到有个小小的伸缩触点，如图1所示，这大部分是用来识别探示波器标头衰减量的，很多高档一点的示波器都支持这种探头特性自动识别功能。当有标识功能的探头连接到示波器通道端口上时，仪器会自动修正对应单位电压的设置值，这样用户就能直读示波器屏幕上显示出来的电压数值，而不再需要因为使用带衰减的探头而增加人工换算。例如，示波器当前设定的单位电压为0.5V/格，当示波器自动识别出配用的是10:1的探头时，当前单位电压显示和测量值都会自动修正为5V/格。有的数字存储示波器不支持自动识别，但可以在探头设置菜单中进行手动设定，同样起到修正显示测量数据的作用。带衰减标识的探头如果安装到不支持该功能的示波器上，就按普通探头使用，通用性没有问题。

双衰减率的探头在探头手柄上有衰减率选择器，可选1:1（×1）模式和10:1（×10）模式，通常都是在10:1（×10）模式下工作。在1:1模式下，不但探头的工作带宽大大缩小，而且探头接入后对被测电路影响大，有的用户用探头1:1挡去测量晶体振荡电路出现晶体停振的现象，改用10:1挡去测量就没有问题。

原厂随机所配的多条探头外形通常都是一样的，为了在实际测量中方便区分不同通道对应的探头，大部分探头都支持安装色环，通过颜色环进行快速区别。

一般的常规探头有多种使用方法：探头前端有可伸出的小钩子，适配器可方便地勾住一些分立元器件的引脚，如图2所示。将探头的伸缩钩适配器拔下就露出探头的探针，对于大部分电路测试点都可以

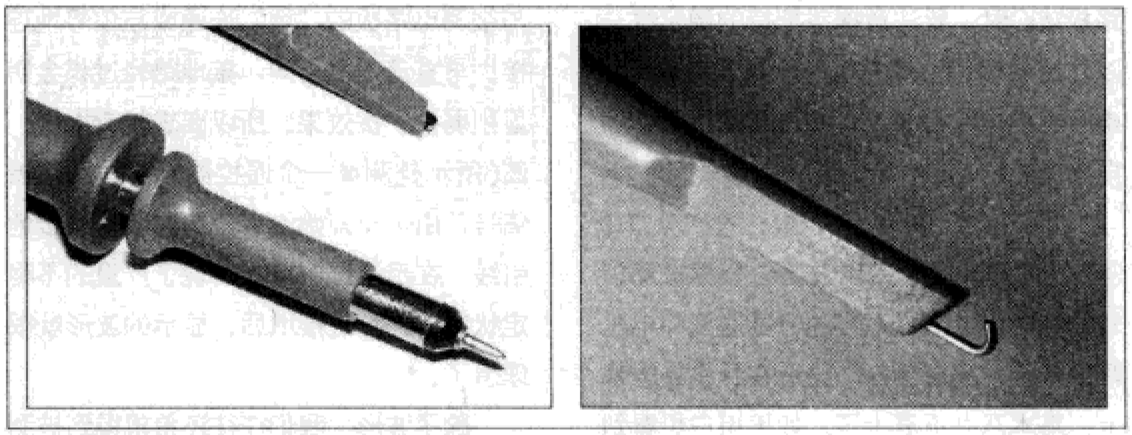


图2 探头的探针（左）和配有伸缩钩适配器的探头 （右）

用探针来进行点测量。有的探头还提供了各种探针护套和定位帽，包裹住探针，使探针只露出很小部分。这样，在测量一些引脚排布很紧密的元器件时，不容易因误操作而引起周围电路短路。大部分探头手柄可以安装一条带有鳄鱼夹的接地引线，用来与被测电路的地线连接，以缩短接地回路，减小干扰的引入和消除仪器地与被测电路地之间的电位差。虽然这一接地操作有时不是必须的，但有时则对测量结果影响很大。

示波器测量前的基本设定

测试前我们安装好事先已经校准好的探头，上一篇文章中最后提到的探头补偿的校准主要是为了使探头与示波器匹配，从而尽量减少显示波形的失真。如果探头是1:1和10:1两挡可选模式的，我们一般都选10:1衰减模式。开启示波器后，应该让仪器开机等待一段时间，使机器进入热机稳定工作状态。新款示波器开启时很多都有自检信息显示，通过全部自检说明示波器没有大的问题。对于多通道的示波器，可关闭不使用的通道，这样屏幕上只显示工作测试通道上的波形或基线，更有利于观察。对于很多共享采样率带宽的数字存储示波器，可开启不同数量的测量通道，每个通道分配到的采样率速度和存储深度是不同的。对于有上百伏特高工作电压的电路，在测量前应该确认测试点工作电压通过探头后不超过示波器输入安全电压，否则极易损坏示波器内硬件电路。对于高压电路一般需要用到高衰减比例、高绝缘性的专用探头。

基线调零操作

示波器开机一段时间进入稳定工作状态后，首先进行基线调零操作。对于模拟示波器来说，一开机就连续采集波形，对于数字存储示波器来说，通过面板上的“RUN/STOP”按钮来控制波形采集的启停，如图3所示。所以，数字存储示波器的基线调零工作要在波形连续采集状态下操作。

将工作通道设置到“GND”接地状态。老款的示波器有对应的专用“AC-GND-DC”拨动开关，如图4所示，新式一点的数字存储示波器则多在菜单中设定。“GND”是接地的意思，指信号输入通道对地短路，以拒绝外界信号，多用于参考或者校准、调节示波基线。

基线调零操作是将示波器无输入信号时显示的水平基线调整到与屏幕刻度中央十字标尺水平线重合。该操作对于没有自动测量功能的老式示波器非常重要，这些示波器对信号的幅度和周期测量主要靠人工读取图形对应的刻度。大部分示波器的每个通道都有调节基线上下垂直位置的控制旋钮，在有些应用中，为了同时比对不同通道的波形，需要将波形位置上下移开，以方便观察。对于老式的模拟示波器，需要手工调节基线上下和左右位置，使其与屏幕中央对齐。对于新式的数字存储示波器，很多机器上有零位设置键，仪器会自动将各通道的测量基线回归屏幕中间。

大部分示波器每个通道设置都可以选择AC、DC、GND和OFF，分别代表选择交流耦合方式、直流耦合方式、输入接地和关闭通道。AC交流耦合方式相当于在输入通道上串联了一只电容器，起到隔离直流信号（分量）的作用，仅允许交流信号通过并进入示波器前端的放大器，一般测试频率不太低的交流信号大多选择AC耦合方式。DC直流耦合方式相当于交流和直流信号同时进入示波器前端放大器，特殊应用中，用户可以通过观察波形与信号地之间的距离刻度获知信号中的直流分量。OFF为关闭当前通道，该通道的基线也不显示在屏幕上。GND只是将信号输入通道对地短路，拒绝外部信号输入，通道依然是工作的。

带宽限制功能设定

大部分入门级40MHz以上带宽示波器都有20MHz带宽限制功能，该功能通过消减20MHz以上高频分量来达到减少噪声干扰、提高信噪比的作用，常用于一些低频率信号的测量，如直流电源的测量中就经

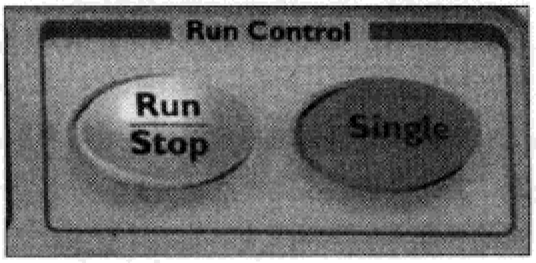


图3 波形采集启停控制按键

图4 专用AC-GND-DC拨动开关

常要用到。有些测试规范中会特别注明需要在特定带宽限制条件下进行测量。一般我们希望看到尽量真实的信号波形，所以20MHz带宽限制通常是不打开的。对于传统模拟示波器，有专用的BW LIMIT按键，对于新款的数字示波器，带宽限制设定通过菜单进行。如果没有注明具体带宽限制水平，一般带宽在200MHz以下的示波器多限制在20MHz。

示波器还有一个重要设定项目——“触发”，不过对于简单波形的测量，使用其默认设置就行了。对于数字示波器，有一个特有的设定内容“采样方式”，不同的设置会出现不同的显示效果。一般如果期望看到信号的包络，建议选择“峰值检波”，如果期望减少所显示信号中的随机噪声，建议选择“平均采样”。

示波器对信号的测量

完成了上述前期准备工作后我们就能对信号进行测量了。

★ 数字示波器的波形显示

对于现代数字存储示波器来说基本信号波形和参数测量非常容易，大部分都可以自动完成，见图5。

第一步，按动“RUN/STOP”按钮，使示波器处于连续波形采集工作状态。

第二步，将安装好的探头与电路板上被测信号点充分可靠地接触，如果是有引脚的元器件，也可以尝试用探头上的伸缩钩勾上，没有引脚的测试点只能用探头探针直接“点”上去。在测量引脚密集的电路板或IC时，要注意探头把持的稳定性，以防造成相邻引脚的短路。对于测量对静电敏感的电路板单元，应该有相应的防静电措施。

图5 数字存储示波器可自动完成多项参数的测量

第三步，按动示波器上的“AUTO SET”按钮。此时，示波器会根据被测信号的特性自动选择适当的时基速度和电压幅度单位，波形会自动显示在示波器屏幕上，基本八九不离十了。如果用户想看到更多的周期，可以手工调节将时基延长，如果用户想改变波形的显示幅度，可以手工修改垂直单位电压值。

★ 模拟示波器的波型显示

对于没有自动设定功能的传统模拟示波器来说，基础操作就要麻烦很多。信号输入示波器后，手动调节时基（秒/格 旋钮）和单位电压（伏/格 旋钮），使波形清晰地显示在荧光屏上。实际操作中，如果设定不当经常会出现屏幕无显示的状况。遇到屏幕无显示不要慌，在确保正常触发的情况下（在没有信号输入时荧光屏上出现稳定的水平基线），首先尝试选择较大的单位电压，使波形全部进入屏幕显示范围内，建议粗调的时候可以将单位电压设置得大一些。然后，如果看到出现宽幅的看似稳定的绿光带或者有一定宽度的扫描线从屏幕左侧向右扫描移动，说明时基设定太慢，尝试设定更快的时基。随着时基设定速度的提升，你会发现屏幕的显示会从扫描线先变成绿光带再慢慢拉伸成清晰的波形。如果一开始看到有一条稳定的非水平线划过屏幕，那么很有可能是时基设定太快，屏幕只显示出波形周期的一个部分，此时可以尝试设定较慢的时基。随着时基速度的变慢，你会发现屏幕中显示的波形会慢慢地被压缩成完整形态。手动调节的原则是先粗调后细调，先找到信号后优化显示。

如果示波器屏幕显示波形混乱或者跳跃，首先考虑是不是干扰造成的，一般首选的处理方法是将探头上的接地引线就近与被测电路板的“地”连通或与信号地连接。与直流电路不同，接地路径过长会明显削弱抗干扰效果，所以要求就近接地。图6所示是测量一个遥控器的晶体振荡器信号，由于一开始没有使用探头上的接地引线，在示波器屏幕上出现了严重的不稳定状况，当就近接地后，显示的波形就很理想了。

除了波形，我们往往还希望得到被测信号进一步的特征信息，如幅度和频率。数字示波器的自动测量功能可以瞬间解决这一切。

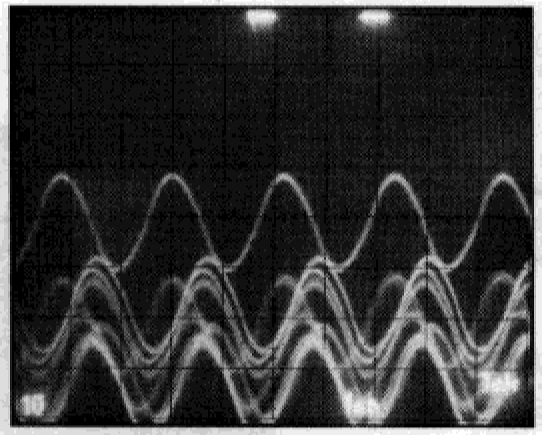
★ 数字示波器的信号参数测量

第一步，打开数字示波器的测量功能，大部分数字示波器面板上会有一个Measure（测量）按键，用于开启示波器的测量功能。通常开启测量功能后，会在显示屏的右侧出现垂直的测量数据条，用户可以自行选择需要测量的项目。示波器的频率测量虽然精度和准确度比不上专业的频率计，但依然有一定的参考意义，尤其是测量一些频率不高的信号时。示波器的电压（即信号幅度）的测量，在一定频率带宽内还是比较准确的（通常在1/5示波器标称带宽内）。对于交流信号的电压测量有多种方式，常用的有峰-峰值、平均值和均方根值等。

★ 模拟示波器的信号参数测量

模拟示波器根据产品时代和档次，分成无辅助测量型示波器、手动游标测量型示波器和自动测量型示波器。后两种示波器都具有数字读出功能，在屏幕上可显示测量和设定数据。

自动测量示波器的测量操作大致与现代数字存储示波器类似，可以自动测量波形的频率周期、电压幅度等基本参数，只是由于早期产品中的单片机处理能力有限，自动化程度和测量功能没有现代示波器那么强劲，但至少测量是全自动的，摆脱了更早期产品需要人工操控，甚至人工


A 未接地导致示波器屏幕上出现严重不稳定状况

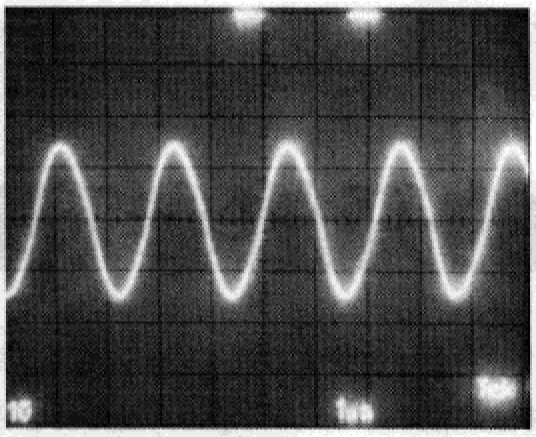

B 就近接地后显示的波形理想

图6 就近接地对波形测量的重要性

"数格子"的操作，测量速度和准确率大幅度提高。

手动游标测量型示波器没有完整的自动测量功能，测量过程中对于信号周期和幅度的标定需要人工操控游标定位。最早期的模拟示波器或者低端示波器不具备任何辅助测量功能，波形显示在示波管上，由用户自己对照示波管上的刻度去读取幅度电压值和周期时间。用模拟示波器对信号进行测量，首先要让示波器显示出稳定的信号，建议调节时基，使屏幕显示信号的1.5~2个周期，幅度约占屏幕的百分之七八十，这样比较容易读数。

如何了解示波器的真实性能

对于幅度的精确测量，限于前端放大器的成本与性能平衡，一直不是示波器的强项。传统上，要精确测量信号的幅度（即信号电压），要用到高频毫伏表或超高频毫伏表，后来有了数字化频谱仪，也能较准确地测量信号的幅度，只是成本又高了很多。现在数字存储示波器普遍都具有电压、频率等自动测量功能。根据示波器带宽的定义可知，当被测信号频率接近示波器带宽上限时，其显示出来的幅度已经明显小于真实幅度，而这种衰减是非线性的，无法准确预测。实际上，能用示波器准确测量信号幅度的频率范围远小于产品标称的带宽，通常只有标称带宽的1/5到1/2，所以有的用户为了能让示波器准确地测试信号，选购的示波器带宽远大于被测信号频率。示波器的这种特性因电路设计不同，具体表现不同，只有通过实验才能测试出某款示波器的真实性能。

如果你手头有高频信号发生器，那么通过简单的实验就能测试出你所用示波器的真实性能，你可以了解手边的示波器实际带宽和低失真测量信号电压的实际频率范围。

方法很简单，将信号源的输出端口与示波器的探头接口用同轴高频测试电缆连接。一般高频信号源输出端口阻抗是50Ω，带宽不是很高的示波器探头端口是1MΩ高阻抗，理论上应该使用一个阻抗变换器，实际上对于粗略寻找低失真波形，测量带宽范围由于不需要很精确的测量，即使不用阻抗变换器问题也不大，甚至对于手头没有高频测试电缆的朋友，用示波器的探头直接连接到高频信号发生器的输出端口也勉强可行。当然，如果你的示波器支持端口阻抗切换，那么设置到与信号发生器端口相同的阻抗，并用同阻抗特性的同轴高频测试电缆连接是最完美的。

测试过程并不复杂。

第一步，将高频信号发生器设置固定的信号输出幅度，一般建议输出-1dBm，相当于200mV@50Ω水平。

第二步，将信号发生器设置成较低的工作频率，如1MHz，不用加调制。

第三步，打开示波器的自动电压测量功能，并正确设置时基和单位电压（如果示波器支持自动设置功能，可使用"AUTO SET"按键），使示波器稳定地显示出波形（通常是完美的正弦波），记录下这时示波器上的电压幅度读数。理论上，示波器电压读数应该与信号发生器设定输出电平相同，但实际上考虑到仪器自身误差，以及电缆正常损耗和匹配损耗等问题，测量数字会有一些差异。

第四步，保持信号发生器输出幅度以"MHz"为单位，慢慢提升输出频率，注意观察示波器端测量电压的下跌情况。示波器上的波形在理想状态下应该保持幅度不变，但间距会慢慢"缩小"，在固定时基设定下，一个屏幕上会看到越来越多周期的波形。当频率升高较多时，可以适当让示波器使用更快的时基，或者再次按动示波器上的"AUTO SET"重新自动设置。当示波器上的电压读数出现明显下降，此时对应的信号发生器频率就是该示波器能提供低失真测量信号电压的实际频率范围。随着频率的升高，示波器电压读数略微下降是正常的情况，因为高频电缆随着传输频率的升高，损耗会自然加大，对信号传输的影响也随之加大。

第五步，有兴趣的朋友可以继续提升信号发生器的频率，寻找示波器电压跌落到原信号幅度的0.707时的频率点（-3dB截止频率点），此时对应的频率就是该示波器的真实带宽。

需要注意的是，这里使用到的信号发生器必须是具有精确电平控制的产品，不能使用简易高频信号发生器。

笔者通过实验发现，不同厂家和型号的产品性能差异明显，按照示波器带宽定义，有的标称100MHz示波器实际测量带宽可达150MHz左右，甚至接近200MHz，厂家标称100MHz带宽为的是在标称带宽内提供更好的测量性能。

晒晒我的工作室／实验室

◇Ward Silver（N0AX）著　张辉（BA6IT）译

N0AX实验室的开放参观日

摘自《业余无线电技巧荟萃》

还有什么比对朋友开放“实验室参观日”更好地庆祝节日季节（感恩节到圣诞节期间的日子被美国人俗称为Holiday Season，译者注）的方式吗？如何亲身实践无线电活动，那就来我的“实验室”吧。

你可能认为我一定会有一个很大的、有着工业规模的、包括很多最先进的配件和仪器的场所吧。其实不是！我只有一个“小小”的工作室，但配置得相当不错。图1所示就是我的工作台，把我的无线电小屋和办公室连在一起。所有这些以前位于不同房间的东西现在都离我不到一臂之长或一步之遥，拥有这一切真是让我受益匪浅。

即使你有一个非常小的操作室，在你的小屋给临时的检修工作留下一点空间仍然是个好主意。你需要使用天线和稳压电源来检验无线电器材。一块胶合板、玻璃纤维板甚至硬纸板都可以用来在你做与电子相关的工作时保护桌面。

工作台

图2显示了我的工作台上的设备布局。工作台是胶合板表面的，承受着我施加在上面的各种机械的振动和磨损。当胶合板太脏的时候，我就把它翻个面或者另找一块新的。对于敏感的电子元件的工作，我会在使用的时候在上面铺一块防静电垫，并在使用的时候保持清洁。至于粗笨的工作，我会在车库里完成，那里可以随便弄成一个烂摊子。

灯光

灯光非常重要，它使得操作包含细小零件的工作和研究设备成为可能。所有的灯都是可以移动的——它们由两个夹具固定着，可以水平滑动，另外一盏挥杆壁灯可以移动到很近的位置。我还有一些超压强溢光灯的灯泡，可以在需要摄影的时候或需要强光的时候使用。一个袖珍手电筒和一个微型鹅颈灯可以在关键时刻提供补充照明。我的手边还放着一个陪伴我很多年的头戴式放大镜。

地面

地板上是一块油毡，而不是地毯。如果可能的话，你实验室的地板应该有一个光滑的表面。实验室环境的地毯会吸附灰尘、木屑、金属沫和小零件，而且焊接时的小锡球会熔化它。如果你不得不用地毯的话，找一些办公室转椅用的地毯保护垫，把它们裁成合适的尺寸铺在你的工作台周围，你不会后悔的！

图1 工作台被零件和工具包围着，操作间就在几米外，所有我需要的东西都在近处，实在太有用了。

图2 工作台上面，你可以看到我最经常使用的设备。零件盒里装了大量的元件，还有一个小的废料箱。示波器在一个小推车上面。

空间利用

这间屋子我有3种用途——操作间、工作台和办公室——虽然它只有10英尺×16英尺大小（大概3m×4.8m，不到15m²，译者注）。所以，我必须充分利用每一寸空间，包括抽屉、架子和小推车。工具放在一个可旋转的抽屉柜或者工具箱里，而无线电器材放在可移动的小车或者陈列柜中，这样我可以方便到设备的后面工作。

你永远不要有太多的电缆——直流或交流的电源线、射频电缆、数据电缆——它们普遍用于当今HAM（火腿族）的操作间里。在图1中你可以看到两个电缆架，左边的那个我还装了一块有长挂钩的挂物板，用于放置馈线盘或者数据电缆。尽量避免把电缆放在盒子里，那样你会浪费很多时间解开它们，而且你永远找不到你想要的那一条。

关于测试仪器

观察图2所示的工作台，你会发现我经常用到的仪器设备，包括两台电源，一台是双0～20V直流实验电源，另一台是

设计用于高功率无线电的大电流电源。左边还有一台自耦调压器，在测试线路供电设备时很好用。

函数信号源和电压表用于几乎所有的实验和制作项目上。不要在电压表上省钱，一个灵活的函数信号源可以替代几种单独用途的信号源，而且它们能在二手市场上找到。

另外一些我最爱的仪器，包括一个可靠的鸟牌功率计和各种“鸟蛋”——比如探头和假负载。MFJ公司的天线分析仪从来不会离我的操作台太远，我弄到一块小型的胶体蓄电池给我的分析仪供电，它省下的钱已经超过购买它的成本的几倍了。

我用过很多示波器，我很高兴拥有那台“15年高龄”的日立四通道的示波器，它有100MHz带宽，能解决我在业余无线电中使用的一切需要，如果超过那个频率，频谱仪更适合做这些工作。有很多类似它的闲置产品供应，在网站www.arrl.org/tis/info/ HTML/Hands-On-Radio/上有许多测试仪器的资源链接。有一次我在Hamfest（一个属于业余无线电爱好者的聚会，通常包括设备展览、跳蚤市场和一些其他的HAM们感兴趣的内容）发现了一个仅售15美元的示波器小车，而且它还可以用作超市手推车。

可靠的工具箱

图3显示了我忠实的、无处不在、容纳一切的工具箱，这个是我一年以前从网站www.jensentools.com上购买的工具箱，买了这个箱子，我从未后悔过。它足够大，可以装入备用的电压表、焊接工具、备件和电缆。

用这种多层多格的工具箱存放同轴连接器和各种接头被证明是一种最好的方式。它可以容纳我制作或者维修电缆时需要的一切东西。我所有的接头都按分类保存，并且容易取得。工具箱物美价廉，而且非常适合各种类似的用途。.

除了工具和仪器以外，我发现自己还保持着收藏相当数量的电子部件和各种硬件的习惯。你可以把它们保存在不同的抽屉或者纸质元件盒中，这两种方法我都喜欢，除此之外我还保留了几个废料箱用于收集零件和元件。

一次购买一两个零件是最不合算的方法，所以我一般都试着多买点。Hamfest是火腿备件的非常好的来源地，有时候，整个元件柜和内部的元件会一起卖出去。你可以把需要的材料在笔记本上列个清单，来保持你的实验室有充足的备件。当你看到有东西在出售或者讨价还价的时候，你就会知道你真正需要的是什么。

小工具

如果不提及一两件特殊的小工具，那我的操作间和实验室的展览就会不够完整，图4显示了一些我历来喜爱的小玩意儿，它们用了好多年。只是衣夹和木头？对！左边的3个木质晾衣夹让电缆和接头的工作变得非常容易。它们牢靠地固定着导线和金属，而不会扎进变热的塑料中。晾衣夹的咀紧密地夹在部件的周围，并且可以依靠弹簧方便地调整。这一套所需要的材料就是一些木螺丝和胶。

图4前面那个怪模怪样的装置，就是我最新式的安装贴片元件的“第三只手”。印制电路板放在下面的纸板上并且在木钉 (可以旋转着升降)下面来回移动。微小的SMT贴片元件被木钉固定在纸板上以便于我进行焊接。当纸板或者固定销磨损后我会更换它们。我强烈建议你做一套这样的装置并进行改良。

注重整理和积累

对我而言，我的实验室最棒的地方就是我可以在几秒钟内把我的手放到任何工具、零件或者仪器上。完成工作的最大障碍就是浪费时间或者当你像个“工具猎人”一样乱翻零件时被打断思路。保持你的工作台适度合理，没有“垃圾”，你就会在乐趣中获得收益和效率。没有什么比想到一个好点子然后立即坐下来动手实施更好的事了。

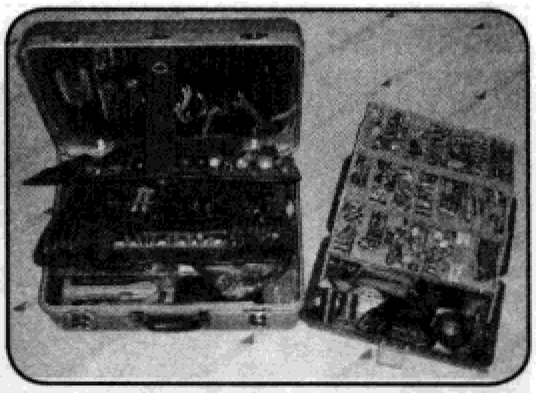


图3 把工具和零件在工具箱里面保管意味着当你准备用的时候它们都在一个地方。

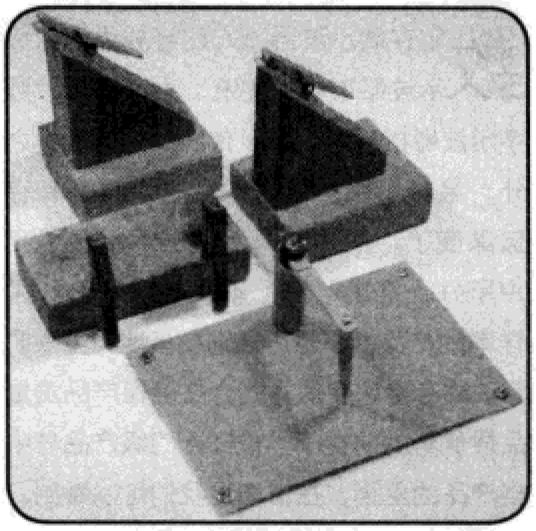


图4 这些便利的自制小工具使得电缆工作和贴片元件的安装更加方便。木头材料不容易熔化和变形。而且，如果它们损坏了也很容易更换。

购物清单

- ◆ 木头，带弹簧的晾衣夹
- ◆ 5cm×10cm的斜面木块，薄的硬纸板和0.6cm长的木钉
- ◆ 胶、木螺丝和螺丝、螺母、垫片

你可以在脑海中估算一下总价格，然后心里说道：“哦，我买不起全部那些东西!”记着，这是我超过35年的电子生涯中的收集。我的工作台是个半成品，我仍然不断地“买卖”着并对它升级。我总是买我能负担得起的最高品质的材料，特别是避免便宜但质劣的工具，从基础开始做起并保持进步！

谢谢你在百忙之中参与我的“实验室参观日”。我希望它能鼓励你制作和修理你自己的电路和设备。祝你好运！

示波器ABC

◇杨法（BD4AAF）

示波器操作进阶

数字存储示波器DSO已经成为入门级示波器市场的主流，大家在比较数字示波器指标时，除了传统的带宽指标之外，最吸引眼球的恐怕就是采样率和存储深度了。很多国内示波器厂家也投用户所好，推出了搭配不同存储深度和采样率的产品，国外厂家则更多地通过限制示波器存储深度的方式，在确保产品测量品质优势的前提下，拉开入门级产品与中档产品的差距。在市场上我们可以看到，大部分3000元以下国产入门级100MHz示波器的采样频率都由500MSa/s提升到1GSa/s，配置的存储深度从2.5kpts一直可以到10Mpts。采样率与存储深度之间的关系，与实际工作中它们对测量性能的影响是技术型用户所关心的问题，接下来我们就来进一步了解一下这个问题。

深度认识采样率与存储深度

示波器带宽对测试准确度的影响在上期的文章中已有简单地说明。需要注意的是，虽然理论上前端模拟带宽主要影响信号的幅度测量，但实际工作中如果带宽不够还会出现显示波形失真、边缘消失或细节丢失。例如，明明输入的是一个有棱有角的方波信号，显示出来的却失真变成边角圆滑的类似正弦波的图形。实际电路中，测量的信号并不同于高档信号源输出的高纯度理想信号。从频域的角度来讲，很多实际电路的信号都包含了丰富的高次谐波，只有足够带宽的示波器才能重现真实的波形。实际应用中，示波器的真实带宽直接关系到测量精度，对于测量精度有一定要求的应用，通常按照经验要求示波器带宽比最高测试频率高出1倍，数字示波器采样速率为4倍测量带宽。高精度的测量则要求示波器带宽至少为被测信号最高频率的5倍。按照数字示波器的结构原理，我们看到的最终波形画面是后期微处理器合成产生的，模拟信号输入示波器后，通过衰减器和垂直放大器后，经过A/D模数转换，被采样成数字化数据存放在采样存储器中。在模数转换中，采样率不足（过低）会导致信号的混叠失真，出现“假波”，根据Nyquist采样定律，采样率至少需要大于信号频率的2倍，才可以有效避免混叠失真。实际应用中，对于比较复杂的信号，往往要求实际采样率是信号频率的4倍以上，以获得理想的信号采样。

示波器产品广告中常可以看到实时采样率和等效采样率的指标，同样一台示波器，等效采样率的数值要比实时采样率高得多。实时采样是指示波器单次所能采集样本的数量，实时采样能力主要与产品采用A/D器件的性能有关。等效采样是指示波器通过多次重复采集最后通过数据处理重建显示波形，等效采样能力以A/D器件性能为基础，主要与软件处理有关。等效采样只适合处理稳定的周期信号，对于偶发随机事件只有实时采样才有可能有效处理，因此，我们应该更注重实时采样率。以目前主流的100MHz数字存储示波器来看，大多标称具有1GSa/s实时采样能力，即便老款产品也有500MSa/s。看似非常不错，不过很多入门级示波器只有在使用单通道时才有可能达到1GSa/s的最高采样速率，如果使用两个通道则每个通道只能达到500MSa/s的水平。

另外需要注意的是，对于大部分数字存储示波器，并不时刻都能工作在最高采样速率下，因为采样速率会受示波器配置的存储深度的限制。存储深度是指采集一次波形能存储的样本点的数量，单位用pts表示。示波器记录波形时间长度=存储深度÷采样速率，当需要测量记录波形长度较“长”时，为了确保存储器数据不溢出，通常采用降低采样速率、减少数据的方式来缓解这个问题，对于只有几kpts存储深度的示波器，有时实际采样率下降是很惊人的，过低的采样速率会导致测量波形失真度的增加。实际使用中，由于示波器存储深度不够，在某些较长时间事件的测量应用中，总揽式的全景显示没有问

从技术上来讲，为示波器增加存储深度并不困难，但要处理好深存储数据，利用存储管理技术弱化深存储的负面影响，是各个示波器厂家软件技术的焦点。

题，但要是展开时间轴显示细节，那失真就很明显了，解决方法是，为示波器配置较大的存储器，提供深存储功能。

大家都知道，现在存储芯片价格很便宜，增加存储器容量硬件费用不高，但并不是所有的测量都能体现深存储带来的好处。在一些情况下深存储会使波形速率明显变慢，而且使用深存储带来的死区效应更加明显，波形捕获的死区时间明显增加。

死区时间可以理解为信号未被处理显示出来的时段，在这一时段中可能就存在着用户感兴趣的偶发随机事件。深存储只有在测量记录较长时间事件（如记录一段数据流）时才体现出其优越性，并非适用于所有信号的测量。如果你的应用只需要看一两个周期的简单波形，那么深存储功能完全没有用武之地，所以具有深存储功能的示波器一般都在菜单中提供深存储功能选项，用户在需要的时候才调用它。深存储功能更多的是用在数字电路的相关数据分析应用上，用于记录一段数据流，然后慢慢回放分析。深存储配置可以使示波器在更长的时间内保持高采样率，实现既总揽全局又不失细节的两全效果。

在过去进口示波器中，只有中高档产品才配置深存储功能，现在国内很多入门级产品中就纷纷提供。不过很多入门级的示波器所具有的深存储空间是“共享”形式，即在单通道工作时可以使用全部存储空间，在双通道工作时每个通道各自只能使用其中的一半。从技术上来讲，为示波器增加存储深度并不困难，但要处理好深存储数据，利用存储管理技术弱化深存储的负面影响，是各个示波器厂家软件技术的焦点。

评价一台数字存储示波器性能好坏除了最主要的带宽、实时采样率、存储深度三大指标外，示波器自身噪声水平、触发能力、波形实时更新速率（波形捕捉率）以及扩展应用软件是专业用户和高阶用户所关心的问题，在高级应用中，中高档示波器还会应用于抖动的测量和眼图的测量。一台示波器的自身噪声和触发能力以及波形更新速率更能体现产品的内在品质，这也是具有同样带宽和采样率的示波器可能价格相差数倍的主要原因。因此，数字示波器的三大指标并不代表示波器性能的全部，在高端应用中更是如此。现代示波器的高端应用已超越了传统示波器显示波形的概念，从操作界面到实现功能都与传统示波器和主流入门级示波器有很大的不同。中高档的示波器可以说以硬件为基础，软件为平台，是软件与硬件完美的结合，不少机型运行的就是微软Windows操作系统，操作中会用到鼠标，还会看到PC上熟悉的对话框。很多前沿的专项测试和分析都有专门针对性的应用软件，如目前应用较多的PCI-E、SATA、USB 2.0/3.0、DDR以及HDMI的测试与分析都与示波器配置软件密切相关。

通过FFT功能，我们可以相对方便地测量信号中的谐波成份，在测量直流电源噪声特性中特别有用。当然，一般即便是中高档示波器的FFT功能，也远远不及专业的频谱仪。

示波器的高级设置

垂直幅度挡位细调 一般示波器垂直电压幅度单位设定以1-2-5步进方式提供设定，即以2mV/div→5mV/div→10mV/div→20mV/div→50mV/div……默认递增可选挡位。有时输入波形的幅度只略大于当前单位，如使用高一挡单位，则波形图形显示偏小，这时可以在示波器菜单中寻找单位细调设定选项，微调每格电压幅度的定义，使波形可以完美展现在屏幕上，较大幅度的显示波形有利于细节的展现。垂直幅度挡位细调一般在数字存储示波器通道相关设定菜单中可以找到。

数字滤波器的应用 很多数字存储示波器提供数字滤波器功能，相当于给示波器输入端增加了各种滤波器，以减少杂讯对主波的干扰，有利于波形的清晰显示。不过需要注意的是，使用滤波器有时也可能将信号中真实存在的一些谐波成分给忽略掉，因此滤波器只在特定的情况下使用。通过设定，用户可以先选择各种滤波器类型（常用的有低通滤波器、高通滤波器、带通滤波器以及带阻滤波器），然后设定滤波器具体的边界频率。带通滤波器对带外信号有很大的衰减作用，用于消除和减弱不同频率区间的干扰源很有效，带通滤波器可以看作高通滤波器和低通滤波器的组合。通常，消除低频干扰需要采用高通滤波器，消除高次谐波干扰或外界高频率干扰需要使用低通滤波器，对于抑制特定频率的干扰信号需要使用带阻滤波器。数字“软滤波器”最大的优点是，用户不必花钱购买物理滤波器，而且滤波器的边界参数是连续可调的。

数学运算功能 示波器可以将CH1和CH2通道的信号波形进行相加（A+B）、相减（A-B）、相乘（A×B）以及FFT运算，一般通过示波器操作面板上的MATH按钮或菜单进行操作。对显示波形的处理，还有一项“反相”功能，相当于对波形进行轴对称变换，原来的正电压显示成负电压。数学运算中，FFT为一项特殊的运算功能。

FFT功能 FFT为“快速傅立叶变换”，作用是可以通过运算将传统示波器显示的“时域”Y-T信号转换成“频域”信号，坐标的水平轴由时间轴变为频率轴。现代很多入门级数字示波器都提供基本的FFT功能，使得示波器具有一些类似频谱仪的功能。通过FFT功能，我们可以相对方便地测量信号中的谐波成份，在测量直流电源噪声特性中特别有用。当然，一般即便是中高档示波器的FFT功能，也远远不及专业的频谱仪。如果用户要做专业EMC测试，那么专业频谱仪依然是必不可少的仪器。混有直流的偏置信号会影响FFT波形，所以在使用FFT显示时，输入通

道需要使用交流耦合方式，以隔离直流分量。FFT显示纵坐标有“V伏特电压”单位和“dBV对数电压”单位可选，对于动态大的信号，建议选用“dBV”单位显示，一般频谱仪也使用dB单位显示。

触发控制系统 示波器的触发系统控制着示波器何时开始采集和显示波形。在初级应用中，用户一般选用自动模式挡就能看到基本的波形。触发的主要目的有同步显示波形、建立时间参考点和捕获突发随机事件。在高级应用中，通过针对性的设定触发条件，常用于捕捉特定事件，如毛刺和违规时序。入门级数字存储示波器常提供的触发模式有边沿触发、脉宽触发、斜率触发、视频触发以及交替触发，一些具有数字分析通道的示波器往往还提供码型触发。

一般观察基础波形用得最多的是边沿触发，即当输入信号电平变化超过预设电平时引发触发，通常用户可设定上升沿触发、下降沿触发和上升/下降沿都触发。

脉宽触发是输入信号正脉冲或负脉冲满足大于、小于或等于预设脉冲宽度条件引发触发，通常较多的被应用在捕捉异常脉冲。

视频触发是对常见标准视频信号，如PAL、NTSC、SECAM等进行场或行的视频触发，较多用于视频信号的研究。

斜率触发是根据信号上升或下降变化速率进行触发。

码型触发是针对数字通道检测特定编码（可预设数据特定位置的状态）作为触发的条件，多用于数据通道编码和信息的检测。触发方式有自动、普通、单次三种。自动方式是在没有检测到触发事件情况下自动采集刷新波形，但可能会不稳定，通常在教学演示和常规简单应用中采用，普通方式在有的示波器上也被称为触发模式，是在满足触发条件时才刷新波形，单次方式是检测到一次触发条件只捕获一次信号，随即停止。

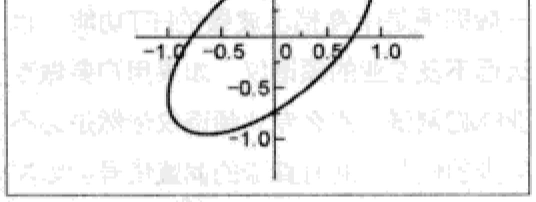


图1 椭圆环形状的李沙育图形

采样特性设定 示波器采样参数的设定直接关系到显示波形的品质和效果。采样方式有实时采样与等效采样两种，两者的区别在上文中已有详述。除非明确需要细致地观察一些重复的周期性信号，否则一般都建议使用实时采样模式。

示波器的采样获取方式有普通、平均、峰值检波3种常用方式。普通方式下虽然实时性强，但信号可能会包含较多的噪声，如果希望减少显示随机噪声可以改用平均方式，通过多次数值平均处理后显示出来的波形会平滑很多，平均次数越多，去噪声影响的效果越好。如果用户希望观察到信号的包络，那么需要选择峰值检测方式，但此方式显示的噪声比较大，只适合特定的应用。

校正功能 很多数字示波器具有“自校正”功能，通过这一操作可以弥补仪器存在的温度偏移。如果你在开机30min或者使用仪器一段时间后发现有温漂的情况，或者希望测试得到最佳精度，都可以执行一下自校正操作。执行自校正操作前，应该移除示波器输入通道上连接的所有探头和附加设备。需要注意的是，示波器的自校正功能主要是用来抵消一些元器件温度系数产生的影响，并不能发现和校正示波器自身的误差，所以不能替代通过第三方标准仪器实现的示波器计量校准。

实战李沙育图形

李沙育图形是示波器的一种经典应用。通过李沙育图型可以了解两路输入信号间的频率相位关系，已知李沙育图形X、Y方向的交点数和一路已知频率的信号就可求得另一路信号的频率，利用椭圆法可求得两路信号的相位差。实际工作中参考信号可以用信号发生器产生任意需要已知频率的信号，然后与另一路未知参数被测信号通过李沙育图形进行比较。早期李沙育图型广泛被应用于频率和相位的测量。

在示波器上显示李沙育图形操作并不复杂，以下是显示两路频率相同、相位不同的信号对应李沙育图形的实例：

第一步：打开示波器CH1和CH2两个测量通道，使两个通道的基线都显示在屏幕上。

第二步：两个测量通道分别安装上探头，探头最好设置在10:1。探头事先都应完成补偿校正。

第三步：分别将两个探头与两路信号可靠连接，通常是一路参考信号与一路被测信号。

第四步：按动示波器上的自动设置键，确认两路信号均能在示波器上清晰稳定地显示出波形，并且没有过多的干扰。

第五步：调节垂直幅度单位，使得两路信号显示的幅度大致相等。

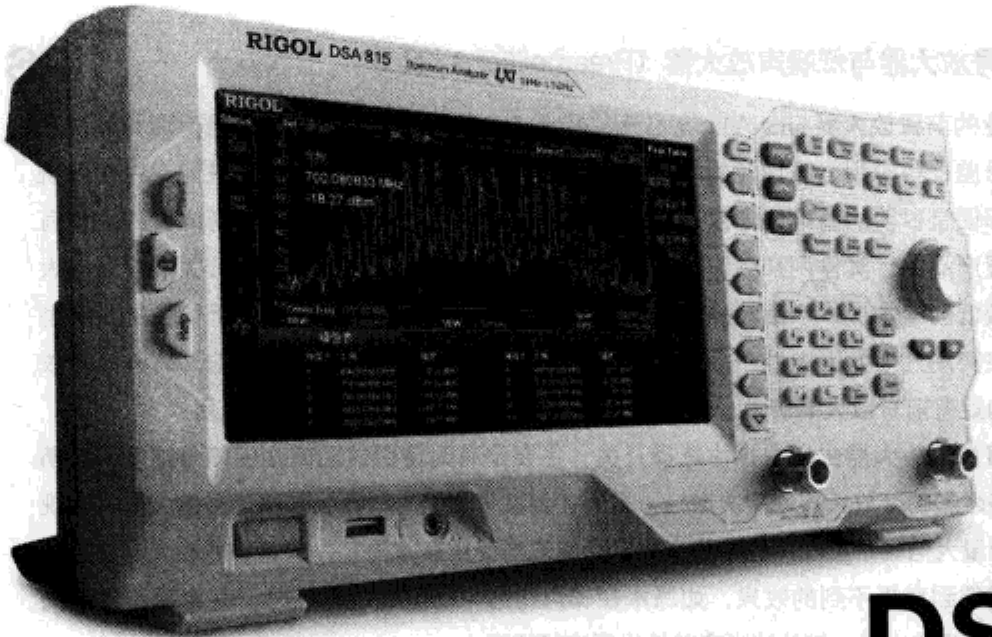
第六步：在水平控制时基设定菜单中，选择X-Y模式取代原来常规显示的Y-T模式（一些老式的示波器X-Y模式可能是面板上一个专用按键）。

这时示波器屏幕上就显出李沙育图型。由于本例中，两组输入信号频率一样，只是相位不同，所以在屏幕上会显示出一个椭圆环（见图1）。

第七步：通过调节垂直幅度单位、垂直位置旋钮使显示波形呈现出最佳状态，同时将椭圆环调整到居中位置，以便于测量。

第八步：通过椭圆示波图形法结合计算公式，计算出两路信号的相差角。

以上介绍的就是一些大家在使用示波器时常会遇到的实际问题，关于更多的内容我将在下一期为大家做更为详细的介绍。



RIGOL万元级频谱仪DSA815试用心得

◇聆听

说起RIGOL这个品牌，在国内电子爱好者和业内人士中自然会将数字示波器与之联系在一起，作为国内数字示波器的领军企业，他们在示波器领域获得巨大的成功后开始了多元化仪器的发展之路。继示波器、函数/任意波形发生器、可编程直流电源后，RIGOL开始涉足频谱仪市场。作为高科技企业，RIGOL研发频谱仪一开始就选取了较高的起点，跳过了低端模拟线路频谱仪，直接上马主流应用的数字频谱仪，并积极应用全数字中频技术与世界主流产品看齐。

RIGOL系列频谱仪一上市就给业内投下了重磅炸弹，万元级数字频谱仪的推出几乎重新定义了频谱仪市场的格局，就像当年RIGOL推出100MHz数字存储示波器一样。对于非专业从事测试工作与仪器打交道的朋友，可能认为10000元左右的经济型频谱仪价格，相对现在花1500～2500元就能买到的一台100MHz数字存储示波器而言，在价位上并不诱人，但真正需要用到频谱仪的朋友一定会非常感兴趣。

在入门级市场，频谱仪的价格远高于示波器，通常一台最高工作频率在1～2GHz的进口名牌经济型数字频谱仪，价格都在10000美元以上，为数不多的国货也要数万人民币。以前国产万元以下的频谱仪基本都是模拟线路的产品，其RBW分辨率和自动测量功能以及测量精度远不能与数字频谱仪相比。如果你是电子爱好者、个人工作室或者是中小型创业公司研发实验室的工作人员，有一两万元人民币的预算，那么对以前的主流频谱仪估计想都不敢去想，只能考虑十几年前的二手货。10000元人民币能买一台成色尚佳、性能有保证、没有暗病的20世纪80年代进口名牌频谱仪已经算不错了。笔者家里一台有年头的HP8563E现在在网上的二手货标价还有七八万元人民币。

对于一台应用新技术、新架构、具有主流经济型频谱仪指标的RIGOL DSA815，很多电子爱好者都充满期待，在价格足够诱人的前提下，很多朋友更关心低价产品的实际性能如何，到底是价廉物美的超值仪器，还是一分价钱一分货，接下来欢迎大家与笔者一起近距离接触一下RIGOL的这台DSA815频谱仪。

主要技术指标解析

RIGOL DSA815工作频率为9kHz～1.5GHz。低端9kHz的频率没有特别的地方，目前主流经济型产品标配都是这个水平。除非特殊应用，一般用户都更关注频谱仪的最高工作频率。

DSA815的最高工作频率为1.5GHz，较以前国内入门级频谱仪最高工作频率1GHz的概念线有所提高，这个指标的优势是覆盖了1200～1300MHz通信频段，同时使得测量目前应用较多的400～500MHz频段信号的三次谐波成为可能。

当然如果打算用DSA815做移动电话系统测试的话，它的工作频率还不够高，除了900MHz频段的GSM和800MHz频段的CDMA外，WCDMA和1800MHz的DCS1800以及TD-SCDMA它都够不着。同理，用DSA815来找卫星、调试卫星通信设备同样不适合。不过，RIGOL还有比较高档一点的DSA1000系列，能提供最高2GHz或3GHz工作频率。

DSA815的工作频率范围用来测量VCO和常规对讲机电台是完全够用的。DSA815频率分辨率为1Hz，比较精细，与之配合的基准晶体指标稳定度为2×10^{-6}，机器也留有10MHz外部参考输入接口。

RIGOL DSA815的最小RBW分辨率带

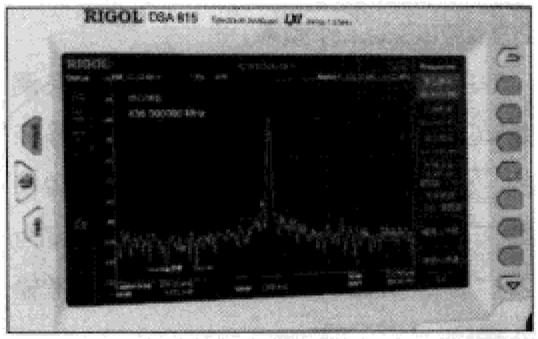
宽为100Hz，在入门级产品中算是不错的性能了。这也得益于数字中频技术的应用，才能以低成本、小体积的方式来实现。过去一些模拟线路频谱仪的RBW都是100kHz级别的。实际常规应用中，一般用到10kHz、3kHz、1kHz RBW分辨率较多。

RIGOL DSA815显示平均噪声电平（DANL）-135dBm（典型值）。该指标体现了频谱仪发现和显示小信号的能力，也是频谱仪射频硬件设计的硬功夫和高成本所在，更是产品档次的重要标志之一。20世纪80年代中档的进口频谱仪可以达到-105～-120dBm水平，现代进口经济型频谱仪1GHz时的DANL在-120～-130dBm，高端产品则可以优于-160dBm。一些低价位的模拟线路频谱仪DANL只有-100dBm水平。DSA815的这个指标在便携式小体积经济型频谱仪中算是很好的了。实际操作中，根据参数设置的不同，实际噪声电平会有所不同，下文的实战试用中我们会继续关注这个问题。

RIGOL DSA815标配有前置放大器。前置放大器的作用是放大微弱信号，以利于频谱图的显示。从频谱仪的角度来说，前置放大器可以提高频谱仪的灵敏度，提升频谱仪发现、显示小信号的能力。

RIGOL DSA815相位噪声指标为-80dBc/Hz@10kHz偏移，指标数据一般。一般经济型便携产品这一指标都不会很高，产品本身定位也不是用于高精度计量级应用，一般常规实验室基础应用、现场快速检测、流水线应用还是足够的。

RIGOL DSA815作为数字频谱仪产品，具有基础测量功能和一些自动化测量功能。DSA815可以做到全幅度精度小于1.5dB，这个指标对于低价位、小机型的频谱仪来说已经相当不错，性能已经逼近进口产品。DSA815的自动测量功能在安装高级测量套件后，可具有更多的功能。



1.5GHz的最高工作频率使得测量目前应用较多的400～500MHz频段信号的三次谐波成为可能

前置信号放大器与低噪声放大器（Preamplifier & LNA） TIPS

专业的前置放大器与LNA(Low Noise Amplifier)常用于EMC测试、信号泄漏类测试、空中信号监视等应用。高性能的信号放大器使用得当，能提高总体系统性能，减少系统误差。即便是目前的高端频谱仪也选配有前置放大器，这类信号放大器有内置的，也有独立外置产品的，其作用都类似。很多现代经济型频谱仪通过内置可选开关的前置放大器，以较低的成本提供产品较高的灵敏度和发现显示小信号的能力，使低价位的经济型频谱仪在实用性上靠近中档产品，这是目前业内比较流行的“实惠”做法。有些频谱仪上虽然内置有前置放大器硬件，但是作为收费选件，需要另外购买才能使用。

前置信号放大器由用户操作选择开关，主要是有时使用该功能会使信号幅度测量精度受到略微影响（放大器性能决定），另外在测试较大信号时容易加剧信号的失真（按规范操作测量大信号不应使用信号放大器，而应适当使用衰减器）。前置信号放大器使用得当，可以得到意想不到的效果，如原本在噪声底线中时隐时现的信号，甚至看不到的信号，通过信号放大器，则能清晰高耸地出现在频谱图上。

别小看信号放大器，要做到在很大频率范围内保持相对恒定的放大量是很不容易的，否则将影响信号幅度测量的精度。同时在放大有用信号时，要尽量控制底噪信号，否则底噪一起放大与有用信号混杂在一起，就没有实用意义了。大频率范围高精度的信号放大器，虽然看上去线路图并不复杂，但实际技术含量甚至高于看似复杂现代的数字电路。国际名牌的信号放大器价格不菲，尤其是低噪声产品，如工作频率到4GHz的Agilent 87405B的前置放大器，国际市场价格超过2000美元，Agilent 11909A（9kHz～1GHz）低噪声放大器的国际市场价格超过3000美元，即便是老款的HP 8447D（100kHz～1.3GHz），其性能保证的二手货在国际市场上也要900美元以上。

RIGOL DSA815采用先进的LXI平台，数据通过标准网络协议传输，方便了模块化的应用和系统集成。DSA815标配就提供网络接口。此外，DSA815还提供USB Host和USB Device接口，并可选配GPIB接口。DSA815通过USB口可以直接接上U盘，将配置等数据存储在U盘上，比20世纪80、90年代频谱仪用3.5英寸磁盘保存数据方便得多。DSA815也能外接USB打印机直接打印输出测量结果。按照厂家技术资料介绍，DSA815提供标准SCPI命令，并且大部分命令和Agilent及R&S命令兼容（命令格式一样），使用命令可以通过所有这些接口对频谱仪进行远程控制，而且绝大部分本地操作都有对应的SCPI命令，打开Help功能，即可查看每个按键的功能介绍及对应的SCPI命令格式。DSA815价格便宜，说起来也就是一两条进口高端测试电缆的花费，相信有很多用户会考虑“高低搭配”使用，这样DSA815在远程控制和系统集成方面将有较好的兼容性。

RIGOL DSA815提供AM/FM解调功能，可以直接解调信号中包含的音频，当然利用此功能可以让频谱仪变成一台收音机，前提是接收信号不太弱。

DSA815可以选配内置跟踪源。具有跟踪源的DSA815可以扩展应用，用来测试二端口网络的幅频特性，当一台扫频仪来用，配合驻波比电桥，还能测试天线的驻波特性，作为天线分析仪用。对于没有网络分析仪的朋友，一台具有跟踪源的频谱仪加上驻波电桥，就具备了部分标量网络分析仪的功能。据笔者了解，其配套

的跟踪源组件价格并不贵，市场价格预计在2000元左右，这样一套带有跟踪源的DSA815，实际市场价格也只在万元出头，相对于跟踪源带来的扩展测试功能，绝对超值！相信拥有一台“一专多能”的超值频谱仪是很多个人工作室所期盼的。

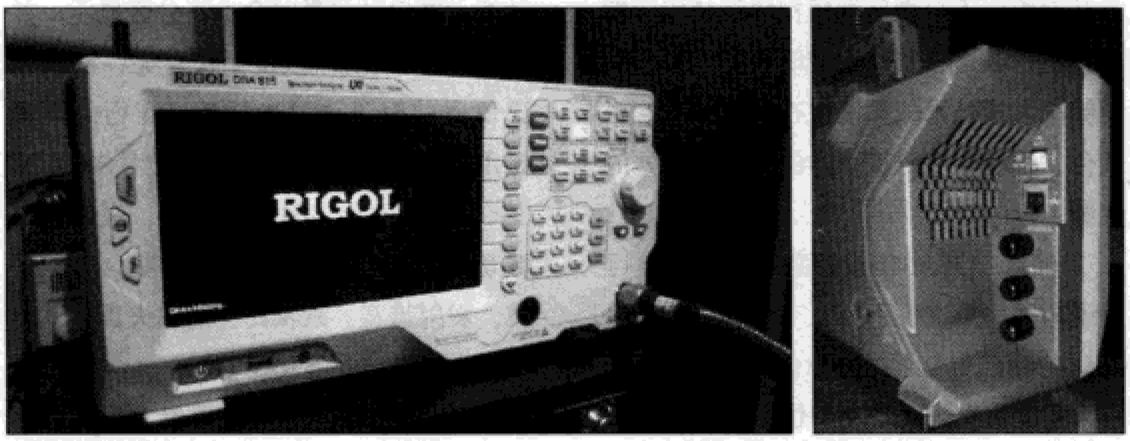
RIGOL DSA815通过软件授权的方式，还可以启用高级测量套件、EMI滤波器和准峰值检波器套件、VSWR测量套件。与进口产品一样，只要在机器界面上输入与主机序列号匹配的软件授权编码，就能激活仪器的一些高级功能，而不必拆机安装任何硬件板卡，这也就是测试仪器软件化、智能化的实际体现。频谱仪越来越多地应用到EMC测试中，DSA815通过软件可以开通EMI滤波器和准峰值滤波器功能，这一般只在高端频谱仪中才能看到，DSA815提供这样一个测量套件，只要配备一些低成本探头，就可能实现EMI预测试方案，这在以前是不可想象的，对于中小厂家有特殊的意义。

外观设计

RIGOL DSA815可以说是真正的便携仪器，外形尺寸361.6mm×178.8mm×128mm，重量约4.25kg。整体外观看上去，像是一台搭配大宽屏的现代便携示波器，顶部有可翻折、隐藏的提手，方便搬运，你甚至可以把它轻松放入年轻人常用的双肩背包中。

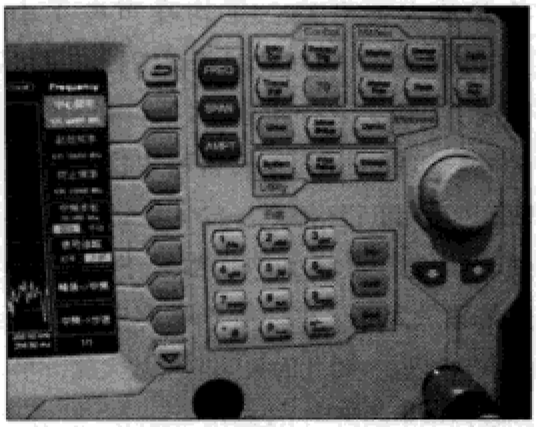
相比之下，笔者接触的一些早期生产的便携型频谱仪，尽管也都采用了液晶显示屏，但重量依然有15kg以上，带出去就像是一个小号的旅行箱，绝对是练习臂力的“佳品”啊。台式的频谱仪更是要两个人才能安全搬动。

除了重量，DSA815较薄的机身对于工作台面积不大的用户绝对是福音，如果你用DSA815替换下早期的大体积频谱仪，会觉得工作台突然多出了相当大的一块空间。DSA815随机还提供一条弯头电源线，与位于机器后部的电源插座配合，使机器可以尽量靠墙放置，节约桌面



人性化的外观设计

空间。DSA815的散热风扇位于机器的一侧，所以即便机器完全贴墙摆放，也不影响散热。由于DSA815十分小巧，为了防止被人顺手牵羊，所以在机器的后部还设计有防盗锁孔，这些小小的细节无疑都是一个个贴心的设计。DSA815的电源采用开关电源，具有100~240V宽电压输入适应功能，不过DSA815没有提供电池仓和外接直流电源的功能，这意味着你不要打算为它配上一个电池包，然后当作手持频谱仪使用。


按键布局设计合理

DSA815采用一块分辨率为800×480的8英寸宽屏彩色液晶屏，显示效果不错，视角宽度以及亮度都上佳。宽屏显示除了显示频谱图外，两侧空间还能显示机器工作状态图标和“软键”功能提示。用户是否打开了前置放大器、扫频模式、触发方式等当前设置，都能在状态图标栏中一目了然。DSA815虽然是便携小机型，但显示屏大小绝对可以与台式机有一拼。

RIGOL DSA815机器外观设计得不错，搭配大液晶屏给人挺有档次的感觉，塑料机壳的材质和模具精度都很好，毕竟RIGOL造示波器不少年头了，对仪表外观把握还是比较到位的。DSA815按键排列基本按照美系频谱仪的框架设计，按照功能区分布，不同功能的按键用颜色加以辅助区分。Preset、打印、Help三个键的位置可谓别出心裁，这样安排的打印键用起来格外顺手。DSA815的按键限于面板，被大屏幕占去大半，所以体积都不大，尤其是最常用的数字按键，笔者主观认为偏小了一些。所有的按键都采用胶质半软材质，所以手感还是不错的。DSA815的飞梭是最常用的旋钮之一，手感上有轻微的步进电位器的感觉，有助于精确设定。总体来说，RIGOL DSA815的整体外观给人现代感和高科技感，频谱图显示的视觉效果也相当不错。

测试心得

RIGOL

基础操作

RIGOL DSA815操作和键盘布局基本传承美系频谱仪的风格，有HP/Agilent频谱仪操作经验的用户几乎不用看说明书就能上手使用。基本操作依然是频率、扫宽、幅度三大主力基本设置，在幅度菜单中可手动选择前置放大器和选择输入阻抗50Ω与75Ω。由于DSA815作为现代数字频谱仪，其架构必然使用频率合成技术，所以工作频率可以通过键盘直接输入，而且频率绝对不会像低端模拟线路使用压控振荡器的频谱仪那样出现明显的漂移。采用频率合成技术的频谱仪在操作频率快速变化、程控以及分辨率方面，都有明显的优势。

RIGOL DSA815设置菜单精细程度可以说与进口频谱仪不相上下，有很多细致设置的项目，包括Y轴单位就有5种可选（常用的可选dBm功率单位，测量信号场强时可用dBμV），刻度也能自由设定，方便观察频谱细节。DSA815菜单设置项目已经基本中文化，这对于一些不太精通英语的用户是个好消息。如果你特别偏好英语界面，可以在DSA815的System菜单中选择英文。

DSA815有自动设置功能，类似于示波器的“AUTO SET”。在闭路测量中，机器会自动寻找峰值信号，并自动选择适当的扫宽、分辨率、扫频时间。该功能对于操作频谱仪不太熟悉的初级用户特别有用，基本可以让机器先大致作出自动设定，然后再按自己的要求修改一下细节。不过对于比较杂乱的信号，如监视空中无线电信号，那么自动设定就不太好使了。

RIGOL DSA815内置有多项自动测量功能，在自动测量时会上下分区显示，并且Meas（测量）按键会被点亮，提示频谱仪目前有自动测量任务在运行。笔者试用这台DSA815软件激活了选件002 004 005，具有高级测量套件配置，提供有时域功率、邻道功率、通道功率、占用带宽、发射带宽、载噪比、谐波失真、三阶互调失真自动测量功能。

频谱仪的Marker功能是最常用的功能之一。DSA815支持使用4个Marker，可以执行差值比较、峰值读取等任务，通过Marker，用户可以方便地看到频谱上任意一点的信号幅度与对应频率。默认状态下，DSA815频率显示到1Hz位，看上去很精确，不过要真正达到具有一定的准确度，还需要高稳定度的外部基准源。笔者试验了一下DSA815的Peak search功能，挺好用的。

DSA815扫宽提供全扫宽和零扫宽功能，在零扫宽下，可以显示信号时域的调制波形。DSA815的RBW分辨率可以设定最小100Hz、最大1MHz。在100Hz分辨率下，扫宽SPAN设置不能太大，否则频谱图扫描速度会很慢很慢。这从另外的角度也看出，DSA815依然是主流的扫频式频谱仪。

由于DSA815使用了全数字中频技术，所以可以通过低成本方式获得较小的分辨率。全数字中频技术带来诸多好处，在性能上可以提高信号测量的精准度、提高测量速度、间接降低底噪。不要以为现在一线被大量使用的频谱仪或者采用液晶显示屏的频谱仪都一定采用全数字中频技术，其实很多产品还使用相当一部分的模拟处理电路，全数字中频技术在中低档频谱仪的应用是近几年的事。过去模拟中频的频谱仪为了获得较小的RBW分辨率可谓不惜血本，那些滤波器和电路都价值不菲，没想到现在被几片小小的DSP和A/D芯片所替代。过去高性能的模拟中频频谱仪体积、重量一直降不下来，这是一个主要的原因。

实战性能测试

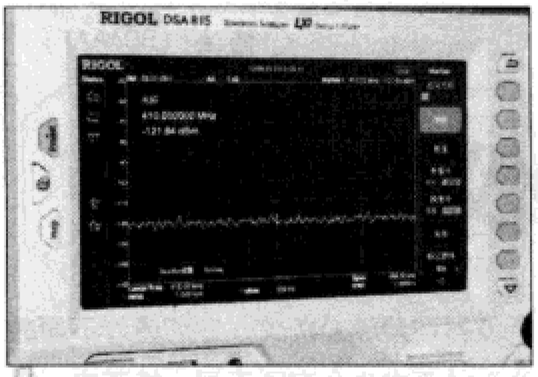
笔者用一台经过计量的高频信号源作为参考源，通过同轴电缆与频谱仪连接，利用DSA815的Marker功能显示光标的频率和幅度，测试结果DSA815幅度显示还是比较准确的。DSA815前置放大器在有些应用中非常有用，可以将一些淹没在噪声里的信号凸显出来，在监测空中无线电信号时也很管用。

大家比较关心这款频谱仪的实际平均噪声，笔者实际测试了一下。

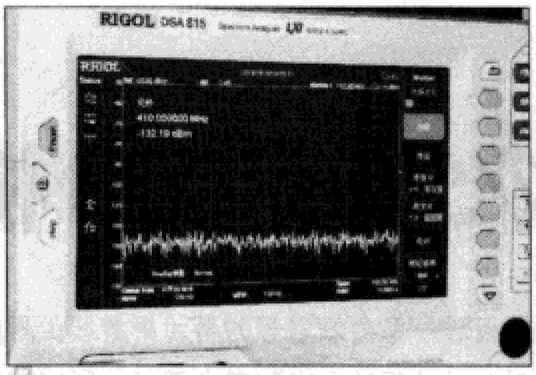
笔者手动设置扫宽*SPAN*=100kHz，分辨率*RBW*=1kHz，机内衰减=0dB，峰值检波。这样的设定笔者认为是一个有实用意义的常用参数设定，从实用出发并不刻意追求频谱仪以非常规的代价去突出某项指标。在参考频率为50MHz\150MHz\410MHz\860MHz时，前置放大器关闭，平均噪声电平小于-100dBm，前置放大器开启，平均噪声电平小于-120dBm。

如果将设定改为*SPAN*=100kHz、*RBW*=100Hz、峰值检波，那么前置放大器关闭平均噪声电平小于-110dBm，前置放大器开启，平均噪声电平小于-130dBm，不过这时频谱图扫描已经很慢了。可见频率的变化对平均噪声影响甚微。如果按照厂家在说明中提及的将DSA815设置0dB衰减、*RBW*=*VBW*=100、抽样检波、迹线平均次数大于50，打开前置放大器，这时平均噪声电平可低至-135dBm，若此时关闭前置放大器，平均噪声电平约为-115dBm。

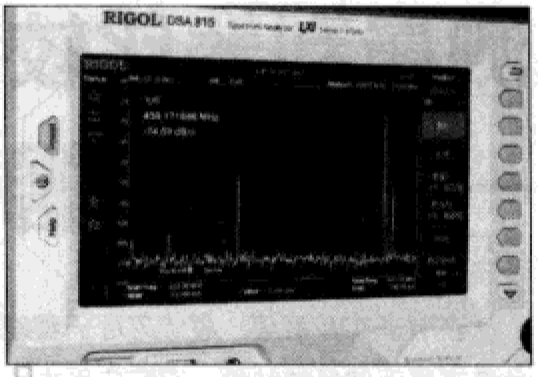
有的用户也关心这款频谱仪的扫描速



设置机内0dB衰减、参考频率410MHz、*SPAN*=100kHz、*RBW*=1kHz、峰值检波时底噪状况



设置机内0dB衰减、参考频率410MHz、*SPAN*=100kHz、*RBW*=100Hz、前置放大打开、峰值检波时底噪状况



显示433MHz～440MHz本地业余频段准实时频谱

度，这关系到频谱曲线的刷新速度。

笔者手动设置扫宽*SPAN*=10MHz、分辨率*RBW*=10kHz（VBW自动），这时机器自动调整*SWT*=100ms，整个频谱图具有较好的实时性。当*RBW*=3kHz时，机器自动调整*SWT*=1.1111s，虽然可以明显看出频谱由左到右的快速扫描过程，频谱图的刷新率勉强可以接受，但*RBW*=1kHz时，机器自动调整*SWT*=10s，频谱图刷新就比较慢了。相比一些模拟频谱仪，同样设置下DSA815速度是模拟频谱仪的3倍以上，甚至比一些市场上前些年推出的2～3万元档次的准数字频谱仪速度要明显感觉快。当然与10～20万元价位的高端频谱仪相比，DSA815扫描性能还是有一定差距的，毕竟价格成本摆在那里。

需要说明的是，对于所有扫频型的频谱仪，设置RBW减小后（可以认为扫描更为精细）都会变慢，这是原理限制，至于在同样设定条件下，不同频谱仪实际扫描速度差异由频谱仪硬件配置所决定，也是由频谱仪档次所决定的。通常对于一台频谱仪处理性能是固定的（除非安装某些提高处理性能的特定选件），SPAN扫宽、RBW分辨率、SWT扫描时间是相互牵制的，一般为了得到较高实时性的频谱图，常缩减SPAN扫宽或减低RBW分辨率。一般基础应用中，并不需要太高分辨率下的高扫宽应用。

对于业余无线电爱好者，很多人喜欢用频谱仪来监视业余频率。过去，频谱仪价格高高在上，具有频谱显示的监测接收机或测试接收机价格也不菲，如今这台万元频谱仪究竟能否胜任空中信号捕捉呢？笔者将DSA815起始扫描频率设置为430MHz，终止扫描频率设置为440MHz，相当于10MHz带宽。打开机器的前置放大器，机内衰减设为0dB，RBW设置为10kHz,这样可以获得*SWT*=100ms，使频谱的显示保持足够的刷新速度,同时平均噪声约为-110dBm水平。这样的设置用来显示发现的对讲机信号、看看谱线没有问题，相对对讲机有效灵敏度（对讲机一般接收灵敏度在-118dBm左右）而言要低一些，但是如果配上高增益天线或者有条件的外部再接一个LNA，基本可以弥补。同时，可以利用Marker Peak连续峰值功能，自动定位并显示当前频谱最大信号的具体频率和幅度。

笔者将频谱仪直接连上对数测量天线，监视本地业余电台工作的433～440MHz业余频率，周围的大中信号基本尽收眼底，从动态的频谱图上，可以轻易发现本地业余电台中继台频率分布情况和非法中继台信号。如果用DSA815监视144～146MHz频段信号，由于扫频带宽只需要2MHz，所以可以使用更窄的*RBW*=3kHz设置，以获得更高的有效灵敏度。相比之下，以前具有精细频谱显示的监测接收机和测试接收机价格都比这台DSA815贵太多了，笔者接触过60000元人民币以下的监测接收机，其频谱显示性能都远不能达到DSA815的水平（当然专业的监测接收机也有自己的长处，这里仅指频谱显示方面性能）。DSA815标配具有AM/FM解调功能，对于喜欢监视业余频率频谱的无线电爱好者，配置一台DSA815或许是一条可行的新途径。

笔者一边测试机器，一边写这篇测评，这台机器在室温20℃的房间内连续工作超过4个小时，机身外部没有明显发烫的地方，机器的温度控制做得不错。在各种操作（包括误操作）中DSA815都没有发生过死机现象。

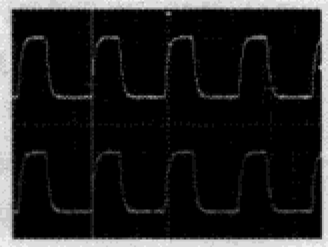
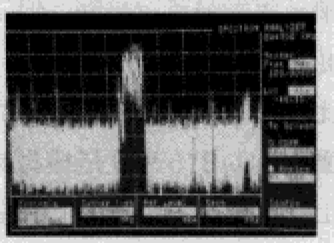
总的来说，RIGOL DSA815频谱仪以万元不到的价格出现在市场上，绝对具有极高的性价比。虽然它的定位只是经济型的入门级产品，但凭借现代高性能器件和数字中频技术，它在很多性能方面已经不输于很多前些年的进口名牌中档频谱仪。我们要以发展的眼光看待新电子产品，就像大家熟悉的数码相机一样，现代家用卡片机与10年前的专业数码相机在成像效果上的差距越来越小。况且作为全新仪器，经过出厂校准，在测量准确度方面可以信赖，不用担心老旧仪器的老化失准问题（频谱仪专业校准一次都花不少钱）。另外，全新正品DSA815都具有1年保修使用，让用户更为安心。即便日后出现什么问题，国产仪器在产品备件供货和维修周期上都有天然的优势。通过这次试用，笔者也渐渐喜欢上这台小巧的仪器，如果有10000元预算，绝对首选它。

测量利器比较
——示波器 VS 频谱分析仪

◇杨法（BD4AAF）

在电子实验室里，最常见用于观察测量交流信号和射频信号的两大重量级仪器就是示波器和频谱分析仪。它们通过不同的角度来展现信号的特性，实际应用中，由于对信号分析的需求和重点不同，所以对测量仪器的要求也会有所不同。接下来，我们就来看一下示波器和频谱分析仪各自的特点和擅长的工作。

示波器的“定位”

比较项目	示波器	频谱仪
定位	“时域”仪器	“频域”仪器
基本功能	测量信号在特定连续时间段内电压幅度变化的情况	测量信号在不同频率点上的功率幅度
水平轴	时间 （单位通常为 s、ms、μs、ns 等）	频率 （单位通常为 Hz、kHz、MHz、GHz 等）
垂直轴	电压幅度 （单位通常为 V、mV、μV 等）	功率幅度 （单位通常为 dBm，可与常用功率单位 W 通过数学计算进行换算）
显示信息	信号波形 	频谱显示 

示波器显示的常规基础波形可以理解为信号在特定连续时间段内电压幅度变化的情况。通过示波器的基本波形显示，我们可以得到信号波形形式（正弦波、方波、三角波、锯齿波等）、幅度（不计示波器带宽测量误差）、周期频率等信息。同时，一些被模拟调制过的信号在示波器上能直观地显示出来。常见模拟调制的调幅信号、调频信号通过示波器都能方便地区分和观察，调制度通过图形也能展现出来。

利用示波器时间轴还可以显示信号的相位关系。在数字化的时代，数字信号同样在示波器上可以展现出来，并利用一些示波器具有的存储功能，将传输内容记录下来，供回放研究。简而言之，示波器就是显示在特定时间范围电压与时间对应关系的仪器，提供波形信息。示波器的波形显示功能用途广泛，这也是示波器向来的“招牌”功能。

通过观察信号的波形容易发现信号失真、幅度改变、毛刺、干扰等异常情况。

对于振荡电路和VCO电路，通过示波器显示波形，很容易判断其工作状态。

对于信号放大电路，通过示波器显示波形的形态，可以了解信号经过放大后是否明显存在失真。

在音频放大电路中，常见的削顶失真、交越失真通过示波器都能直观地显示出来。

对于一些偶发异常事件，通过示波器的特殊触发功能可以及时发现和记录，常见的应用就是异常信号的捕获。

对于干扰信号，利用示波器来查看是传统方法，常见的信号毛刺捕捉和噪声观察都是这类应用。

示波器还常被用作信号处理单元，监视输入、输出信号，以判断电路单元工作是否达到设计要求。

利用示波器来检测高速数据信号的传输干扰是示波器在数字化时代的新应用。

例如，在检测HDMI线材的传输性能中，示波器是必然的主力仪器，HDMI线材存在的串扰问题在示波器面前可以得到充分的量化展现。可能两条价格相差数倍的HDMI线在连接电视看高清视频时，肉眼尚感觉不到明显的区别，但在示波器专业测试面前，优劣与差距将一览无遗。

示波器通过波形显示了信号的电压幅度。对于交流信号，尤其是频率较高的交流信号和射频信号，幅度的测量和毫伏级微小电压的测量一直是传统万用表的软肋，过去要测量频率较高的信号，需要用到专用的高频毫伏表或超高频毫伏表。随着示波器带宽的跃升和自动化测量技术的加入，利用示波器测量信号的幅度（电压）已十分普遍，大有取代超高频毫伏表的趋势。通过对信号的幅度测量可以了解放大电路的实际放大量，或信号在传输过程中的损耗衰减。在某些测量中，还能折算出信号源的输出功率。

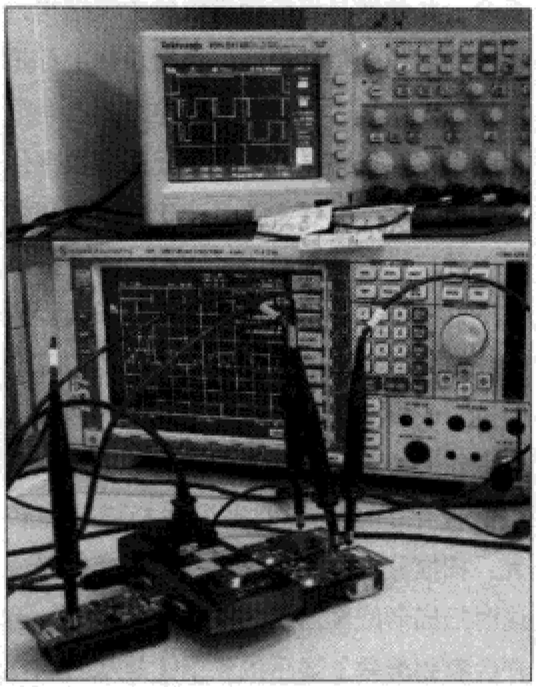
示波器显示的波形是在时间轴上的，所以对于重复的周期信号不难得到其周期时间。由于周期和频率在数学上是倒数关

系，所以通过简单的计算就能得到信号的频率数据。虽然示波器的频率测量功能比起专业的高精度频率计在精度分辨率上有明显的差距，但依然具有相当的实用意义。一些现代的示波器，为了提升对信号频率测量的性能，在示波器电路上增加了硬件频率计电路和自动测量功能，使得示波器的频率测量性能可与简易数字频率计媲美。通过示波器频率测量功能，可以方便地了解振荡电路的工作频率和信号频率。

很多现代数字存储示波器都提供FFT功能。FFT是快速傅里叶变换分析功能，通过数学运算将时域信号样本转化成频域样本，使得数字存储示波器也具有频谱仪的一些作用。尽管通常低阶数字存储示波器的FFT性能，如RBW（分辨率）、底噪、速度，与主流数字频谱仪还差距很远，甚至被一些拥有专业频谱仪的用户贬为“鸡肋”，但对于手头没有频谱仪的用户，至少也是一窥频域分析的途径。对于信号谐波分析、脉冲响应、干扰分析利用频谱方式特别有用。

频谱分析仪的“定位”

频谱分析仪在射频领域应用广泛，素来有“射频万用表”之称，在大部分射频实验室和EMC实验室频谱仪是绝对的主力仪器，利用率远高于示波器。



同时应用中的示波器与频谱分析仪

频谱仪显示的频谱图可以理解为信号在不同频率点上的功率幅度。通过基础频谱图，我们可以了解信号的中心频率、功率幅度、占用带宽信息。此外，还能获得谐波、杂波、噪声、失真信息。

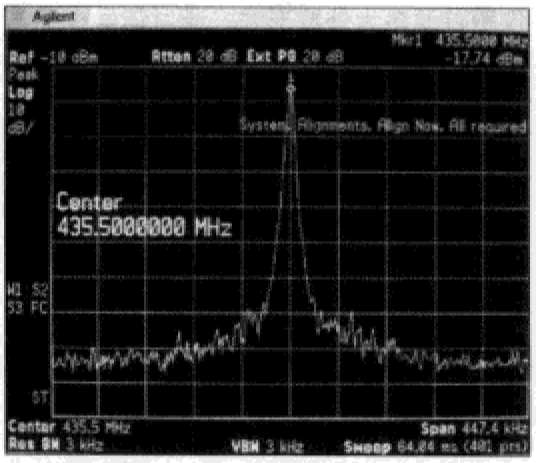
利用数字频谱仪的峰值保持功能，还能观察和测量一些不连续的瞬时信号，如时分信号。我们目前广泛应用的GSM移动电话的信号就是典型的时分信号。

频谱分析仪的频率占用显示特性可以用来发现信号的存在。通过频谱仪实现频率占用的可视化，信号占用频谱的频率范围和信号幅度都能在频谱图上得到直观的展现。简单地说，频谱仪就是显示在特定频率区间上信号占用情况的仪器，提供幅频信息。在实际的实验室应用中，频谱仪不但用来寻找主信号，更多地用来寻找谐波等杂散信号。在无线电监测业务中，频谱仪更是监控空中电磁波的利器。

通过频谱仪可以测量信号的频率，虽然频谱仪的频率计数功能的分辨率及精度与专业的频率计尚有差距，但利用数字频谱仪最大值保持或者单次显示功能，可以测量一些幅度不稳定或时分的瞬间信号的频率，这正是频谱仪测频率的长处。测量这些不稳定信号的频率向来是传统常规频率计的软肋。

频谱分析仪对信号的幅度显示特性可以用来测量信号的功率，大部分频谱仪的纵坐标就是功率标尺（dBm单位与常用功率单位W能通过数学计算进行换算）。现代很多数字频谱仪的一类扩展功能，就是各种功率测试，包括对一些专项信号的功率测量。频谱仪具有很高的灵敏度，现代高端产品的底噪可以优于-160dBm，所以特别适合用来检测微小的信号。

频谱分析仪通过频谱曲线图可以显示信号占用带宽（频率区间）的情况。往往调制信号都需要占用一定的带宽，常见的移动电话GSM信号每个信道就要占用200kHz带宽频谱（载频间隔）。在无线



频谱显示信息

电频谱资源十分紧张的今天，各国无线电管理部门对各类无线电业务占用带宽和频率资源分配都十分重视。在通信应用中，利用数字频谱仪测量发射机的邻道功率指标是频谱仪重要应用之一，邻道功率是发射机重要出厂指标，标志着产品工作时对相邻信道的影响程度。

频谱分析仪除了基本的频谱曲线图显示功能外，还有一些附加功能，如常规AM/FM信号解调功能、MARK频标功能、ZERO SPAN功能等。解调功能是还原调制信号中包含的调制信息，通俗地说，如果解调FM广播信号就能听到语音或音乐。频标功能是在频谱曲线图上标注特定频率点，ΔMARK功能可以自动测量两个特定频点信号功率幅度的差值。ZERO SPAN零扫宽功能则是将扫频带宽缩小为零，这时频谱仪显示的图形由“频域”转换为“时域”，就有点像示波器了，通常用于观察调制信号的波形。

对于数字频谱仪，扩展功能更多，现在大部分中高档数字频谱仪除了基础参数自动测量外，还可以通过加载软件的方式提供特殊的专项自动测试应用，如带宽测量、邻道功率测量、窄带功率测量、ΔMARK测量等。

频谱分析仪可以搭载跟踪信号源进一步扩展应用，这使得频谱仪具有测量两端口网络频幅特性和衰减特性的功能，如果再配合驻波比电桥，还能用来测量天线的驻波曲线。这样频谱仪就具有了扫频仪和标量网络分析仪的一些功能。早期的频谱

仪跟踪源多为外置形式，通过信号电缆与频谱仪扩展接口连线。现代频谱仪跟踪源基本都是内置形式，作为选件配置。在实际应用中，具有跟踪源的频谱仪可以用来测量滤波器频率衰减特性曲线、双工器特性曲线、电缆或射频器件的衰减量。

数字化时代的仪器

在数字化的时代，示波器与频谱仪在硬件结构上都有很大的改变，原来很多模拟处理单元都由数字信号处理单元取代，向着数字化、软件化的方向发展。同时搭配彩色液晶屏取代CRT显像管，产品的体积和重量都有了明显缩减，手持式示波器和频谱仪已经不再是稀奇玩意儿。在很多现场应用中，我们越来越多地看到了各种轻巧的便携仪器，笔者看到过最小的频谱仪只有一个PDA大小。

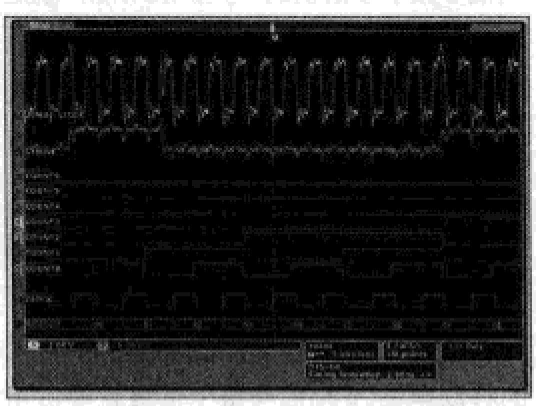
很多中高端的示波器与频谱仪的核心数据处理单元就是一台电脑，甚至运行的也是PC上的微软Windows XP操作系统，操作起来可以用键盘、鼠标控制。数字化产品最大的技术亮点在于增强了自动测量功能和可编程测量功能，这对提高工作效率和减少测量误差都有莫大的好处。从测量性能的角度来看，由于新技术和新器件的应用，示波器与频谱仪的综合性能都有空前的提高，使得处理日益复杂的混合信号成为可能。

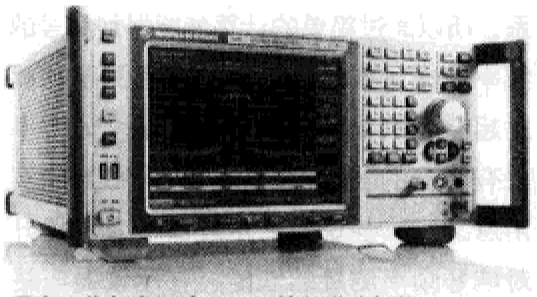
便携频谱分析仪

示波器的硬件结构和扩展功能与时俱进，目前主流的数字存储示波器的电路架构已与早期的模拟示波器有本质的差异。作为数字示波器，基本除了前端的模拟放大电路外，大部分都通过数字电路来处理，输入信号经过前端模拟电路预处理后，即通过A/D采样单元数字化，然后数据流通过示波器内部的DSP单元和微处理器单元，完成信号波形的重建和测量工作，用户最终看到的波形实际上是由处理器合成的。

高端数字存储示波器DSO产品已经打破了传统DSO只能在液晶屏上显示两维信息的局限，加入了辉度等级显示的特性，使得数字示波器也具有接近传统模拟线路示波器的显示效果。与早期示波器相比，现代示波器自动化测量功能可谓异常强大，即便是入门级产品也具有自动幅度、频率、占空比测量功能，用户在观察波形的时候，示波器就能自动显示出多种测量参数，测量精度也远高于模拟示波器。

为了适应越来越高的频率信号的测试需求，示波器的带宽也节节攀升，过去被视为高档示波器的100MHz带宽门槛现在已经沦落为入门级水平。目前能称为上档次的示波器至少都具有1000MHz（1GHz）以上带宽。示波器的高端主力


混合示波器可提供多达16条并行的数字通道


最高工作频率可达40GHz的频谱分析仪

应用不再是简单的波形显示，而是显示更复杂的眼图和强大的数据分析、记录、解码功能，很多高档的示波器都具有一定的逻辑分析仪的功能，有些混合示波器还提供多达16条并行的数字通道。通过传统信号通道与数字通道的结合，我们可以方便地观看和记录在时域上数模转换器的实际输入和输出情况。最近，内置频谱分析仪功能的混合域示波器也已问世，这样在实验室，一台仪器就能从多个角度来观察和分析信号特性了。

频谱分析仪的硬件结构和扩展功能与时俱进，目前主流的数字频谱仪的电路架构已与早期的模拟频谱仪有本质的差异。数字频谱仪核心数据处理由微处理器掌控，除了显示基本频谱图外，还增加了诸多自动测量功能和软件扩展功能。传统的频谱仪采用超外差式结构，类似一个可以高速扫描的接收机，依次在连续频率轴上勾勒出信号幅度曲线。这种结构一直沿用至今，并依然是目前频谱仪的主流结构，也被称为扫频型频谱仪。虽然总体上都是超外差式结构，但具体实现电路上已有很大的发展，很多模拟处理单元都被数字化单元所替代。现代主流频谱仪大量采用数字中频技术，不但减小了体积，而且提供了更好的性能。严格意义上说，扫频型频谱仪提供的频谱显示并不是实时的，每个时刻，仪器只能扫到一个频点上的信号。当刷新速度很快时，用户会有频谱图几乎实时变化的感觉，但当设置扫描带宽较大、扫描分辨率又过小时，刷新会很慢，这时扫描形成频谱图的感觉会很明显，用户会看到屏幕上显示的频谱图是从左到右逐渐形成的。

当然，扫频型频谱仪的扫频速度与仪器的硬件配置和设计有关。由于扫频型频谱仪的频谱图并非严格意义上的实时频谱，所以理论上是会有错过一些瞬间信号的可能。新一代的频谱仪中，有全新架构基于FFT和实时频谱技术的实时频谱仪问世，理论上实时频谱仪更不容易遗漏频谱的细节，并更适合对瞬变信号的显示。

在实时频谱仪刚上市的时候，它提供的最大实时带宽只有10MHz左右。随着科技的发展，目前实时频谱仪的实时捕捉带宽已可以超过100MHz。随着射频信号频率不断提升，频谱仪的工作频率也不断提高，目前很多最高工作频率为1GHz的频谱仪在很多应用中已力不从心，高端系列产品甚至达到了40GHz以上。频谱仪的显示方式在过去的主力曲线图增加了瀑布图和三维频谱图显示方式，新的频谱显示方式可以显示过去时间频谱的情况。另外，面对应用日益增多的GSM/EDGE/EDGE Evolution、CDMA One、CDMA 2000、1xEV-DO、WCDMA/HSPA/HSPA+等数字通信信号，新型频谱仪都开始内置针对性的应用测试软件，简化测量操作，优化测量效果。

日益亲民的购置花费

配置高端产品，示波器和频谱仪的花费相当，但在入门级产品中，购置数字频谱仪的花费明显高于数字存储示波器。

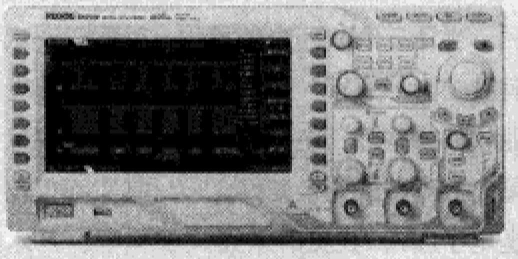
入门级数字存储示波器目前在国内市场上价格低廉，完全要感谢国内仪器企业的崛起，正因为有了可用性很强的国产产品，打破了技术垄断，再加上业内竞争，才使我们有机会购买到高性价比的仪器，同时也使得同等级的国外品牌仪器价格有所松动。想当初，没有国产品牌的时候，进口100MHz数字示波器价格高高在上，一支100MHz探头的价格就相当于现在一台国货100MHz示波器的价格。

在制造技术含量上，频谱仪要高于入门级数字存储示波器，尤其在一些射频电路和器件的设计、应用方面。入门级数字存储示波器工作频率在100～200MHz，而入门级的频谱仪则至少在1000MHz。主流频谱仪线路中并非完全靠数字处理电路，前端的高频率射频电路是技术的难点。A/D芯片、DSP芯片、微处理器都是买现成的，数据处理硬件架构有公版可以借鉴，数据处理软件只要有编程高手和借鉴实例也不难解决，但高频率的射频电路设计和制造，以及品质、性能过关的微波器件，则是制造厂家的硬功夫。

可能由于上述原因，国内大部分本土仪器厂家多采用先易后难的战略，从市场需求量大的示波器入门，并已取得很大的成功。国内也有少数厂家涉及频谱仪产品，早期低价位产品基本都集中在模拟构架的基础型频谱仪，虽然现在都已开始进军数字频谱仪，但价格并不诱人，性价比也不高。好消息是，国内示波器领军企业开始涉足频谱仪产品，已推出万元级数字频谱仪，并且应用比较先进的全数字中频技术，具有相当的性价比。随着越来越多的国内企业加入，入门级频谱仪市场有望继示波器市场之后，在不久的将来，出现更多更具性价比的国产精品仪器。

RIGOL发布DS2000系列经济型数字示波器

北京普源精电科技有限公司（RIGOL）推出“四大金刚”系列又一款力作—— DS2000系列经济型数字示波器。这款产品立足于RIGOL研发的新一代设计平台，继承了RIGOL DS6000、DS4000主流示波器的众多优点，各项指标在同类产品中均力拔头筹，在价格方面优势也十分突出。



RIGOL DS2000系列数字示波器

DS2000系列示波器采用了RIGOL独创的UltraVision技术，可实现深存储、高波形捕获率、实时波形录制及回放、多级灰度显示等功能。DS2000系列配置200MHz/100MHz/70MHz三个级别带宽，实时采样率高达2GSa/s，存储深度最大可达 56Mpts，波形捕获率每秒达50000个，硬件实时波形不间断录制和波形分析功能支持录制高达65000个波形，多达256级的灰度显示等。

DS2000系列示波器还拥有丰富的触发功能，标配10种触发，除常见的脉宽触发、视频触发、欠幅触发等，还标配三种总线触发——RS232/UART触发、I^2C触发、SPI触发。对于高级应用客户，可选配更多的触发功能，如超幅触发、第N边沿触发、USB触发等，也可选配RS232、I^2C、SPI常用总线解码功能。DS2000系列示波器的接口也很丰富，有USB Host、USB Device、LAN（LXI）、AUX接口等。

DS2000拥有8英寸高清的TFT（800×480分辨率）显示屏，显示效果清晰明亮，观察波形得心应手。

2011年，RIGOL宣布推出“四大金刚”系列产品，并先后发布了DG4000系列函数/任意波形发生器、DS4000系列主流数字示波器、DSA800系列频谱分析仪，随着本次DS2000系列经济型示波器的推出，RIGOL精心研发的“四大金刚”系列产品已经全部与用户见面。这四款产品共同体现了RIGOL持续创新、精益求精的技术追求。

晒晒我的工作室/实验室

◇陈建皓

我与父亲共同构建的家庭电子实验室

写在最前：其实在构思本文的时候，我是有顾虑的，因为按照这样叙事的思路，本文注定将不是一篇偏向技术性的文章，而来自编辑的一句话帮我解放了思想："我们杂志现在也希望能加入一些人文色彩的东西，让读者觉得，爱好不只是枯燥的技术。"这不仅是《无线电》办刊理念的创新和飞跃，也是多年来，我一直在寻找的自然科学与人文情感，甚至是艺术的一种融合。在电子制作中，让我们一起发现美、发现源于电子制作的艺术之美。

我，伴随着改革开放成长起来的80后，生活于海峡西岸的福州，就职于一家有着"隐形冠军"头衔的软件企业，任行业软件架构师。电子制作，对于我来说只是为数不多的业余爱好之一，其实不仅仅是电子DIY，我更时常迷失于科学、艺术和哲学的边缘，猛然间听见母亲在喊"准备吃饭啦"，才幡然穿越回现实。

父子两代人的电子情缘

父亲已是一名年逾60的退休工人，我们三口之家的生活虽不富裕，但也算安逸。时光荏苒，不知不觉我已到了"奔三"的年龄，下面就先让我展开时间的长轴，细数父子两代人关于"电子制作"零零散散的回忆吧。

对于电子的喜好，我确信来源于父亲。20世纪80年代初，电视机对于普通百姓人家来说还是个稀罕物，而那时父亲已经利用业余时间组装了一台9英寸黑白晶体管电视机。据父亲介绍，因经济条件限制，当时使用的元器件多是处理品，可供调试的仪表也只是一台指针万用表。尽管记忆已经模糊，但据母亲回忆，幼年的我喜欢站在桌旁的凳子上，看着父亲焊接电路，或许这就是电子情缘的起点吧。于是就这样，在父亲的教导下，认识了电阻、电容、二极管等元器件，学会了使用万用表，学会使用电烙铁，慢慢开始翻阅电子方面的书籍和杂志，也习惯了周末和父亲一起穿梭于当时这座城市仅有的电子大楼。直到现在，当我出差到一座新的城市，闲暇之余，电子城和书店都成为我必不可少的去处。家里的LED电子钟、电子门铃还有水位报警器（20世纪80年代，家中常停水，水位报警器属居家必备器材）等都是父亲年轻时候的作品。对于每一件作品，无论是焊接，还是外壳，父亲做得都很细致，力求完美。看在眼里，记在心里，父亲精益求精的做事风格影响了我的一生。

小学迫于初考的压力，翻阅家中订阅的《无线电》、《中学科技》、《现代通信》等刊物，便成为我缓解学习压力唯一的娱乐手段，尽管当时还有许多内容看不懂。父亲亲手DIY的"无线调频话筒"亦成为我爱不释手的玩具。

升入中学后，我报名参加了学校的无线电兴趣小组，成为年龄最小的一名成员，"全波整流"、"无稳态电路"、

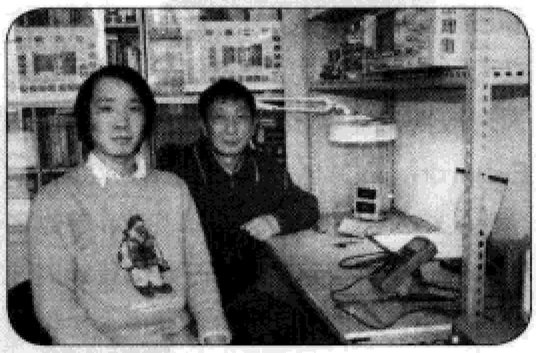


图1 父子两代人一起DIY

"应急灯升压电路"、"六晶体管收音机"、"亚超声波开关"等电子制作基本占据了整个周末的课余生活。回忆初一那年，第一次使用示波器的情景，那感觉是"相当"激动。那时，对于电子制作的热情，就像那句台词说的"如滔滔江水，一发不可收拾"。还记得高一的时候，班级举办知识竞赛，我自告奋勇，连夜翻阅资料DIY的"四路抢答器"获得好评无数。然而，因为没有经济能力，那时的我，常常看着杂志封底的邮购目录"垂涎三尺"。

日子也就这么一天天过去了，高考的时候，我选择了计算机专业，与电子专业"擦肩而过"。因为在我看来，兴趣爱好是一种很美好的感觉，如果当作专业来

做，有时会成为一种负担，挑灯夜战的激情是很容易泯灭的。从另一个角度上看，不同学科上的“南辕北辙”有时恰恰能带来意外收获，这就有了之前文字中的“迷失”。因为选择的是计算机专业，完全理论化的“魔鬼电路”（模拟电路）、“信号与系统”便成为大学四年一段无法抹去的、痛苦的学习回忆。其实直到现在，我都没弄清楚“信号与系统”课程中的“傅氏变换”、“拉氏变换”该用在什么具体的应用中。大学四年，忙于专业、忙于学校广播电台，忙于数学建模、国际ACM大赛，尽管我的电子爱好有所停滞，但之前学到的电路知识，父亲传授的动手能力，却依然发挥着很大的作用。

工作了，有了一定的经济基础，我开始重新定位并梳理我的电子DIY爱好。因为种种原因，很多电子杂志已经不再订阅了，但《无线电》却是我每期必读的。因为是计算机专业出身，又有一定的电路基础，因此我选择了“单片机”这一全新的领域来延续我的电子DIY爱好。买书、开发板、编程器，一切都靠自学，“爱上单片机”的生活便从古老的“8051”拉开了序幕。渐渐地，软件专业的我，变得喜欢和硬件打交道，一个没有生命的器件，在代码的指挥下，变得活灵活现，可以编织最美的场景和应用，我想这就是“单片机”的魅力所在，也是电子制作艺术之美的体现。从最初的“数码管显示”、“DS18B20测温”、“LCD1602”到“超声波测距”、“智能小车”、“51以太网”，一路走来，这其中有辛勤的汗水、但更有激情和兴奋，我想，这才是DIYer独享的乐趣。

近年来，我和父亲一起DIY了几样像样的“成品”：T12白光数显焊台、盖革计数器、春风数控电源等。一般来说，电路部分由我负责，外壳工程等部分由父亲帮忙完成。坐在父亲的旁边，看着他头上的白发，还有那布满皱纹拿着烙铁的手，我发现父亲老了。我想，父子两代人共同DIY的场景，将永远成为我记忆中一段弥足珍贵的回忆。

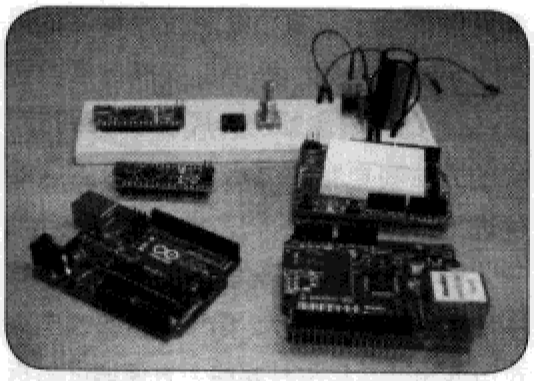


图2 使用面包板和杜邦线就可以玩转Arduino

单片机，“想说爱你其实并不容易”。因为不是电子科班出身，“时序”、“寄存器操作”等硬件底层相关的操作成为我平时在单片机DIY过程中的最大障碍。直到有那么一天，我遇见了“Arduino”，这一切发生了嬗变。

遇见“Arduino”

2010年10月的一天，当我像往常一般翻阅《无线电》的时候，关于“Arduino”的专题介绍初入眼帘，紧接着几期杂志，也都有相关的专题。于是，我开始注意并慢慢了解Arduino，这不仅仅是一个神奇的开源平台，更是一个帮助爱好者构筑梦想的舞台。“心有多大，舞台就有多大”，这正是Arduino传递给我们对于电子制作的全新理念。

Arduino是一个有着多个输入、输出端口，一个手掌可以容纳的微型控制器，它能与键盘、鼠标、LCD、GPS、Wi-Fi、蓝牙等设备相连接，具有使用类似Java语言习惯和IDE集成开发环境。Arduino的出现，大大降低了互动试验的门槛，越来越多的艺术家、设计师也开始使用Arduino制作交互艺术品和装置。

Arduino将一些硬件资源的操作进行了封装，这对于一个专注于软件开发和架构设计的我来说，简直是莫大的幸福。于是上网买来了Arduino的控制板，对着网络上的教程依葫芦画瓢。以驱动LCD 1602显示为例，原本采用51单片机的上百行代码，现在只要几行就轻松搞定，这才是真正的生产力的飞跃啊！我决定今后DIY的所有应用，都基于Arduino平台开展。

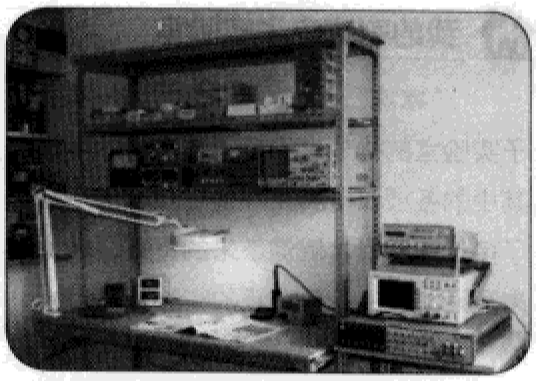


图3 我的“准专业级”家庭电子实验室

Arduino在国外是一番热火朝天的景象，但国内却依然还没形成一定的发展规模。网络上关于Arduino的中文文章少之又少，Arduino的中文书籍就更是凤毛麟角了。尽管近年来，在一线城市，如北京、上海、广州已经成立了Arduino俱乐部，但是否能持续健康地发展，恐怕还需要经历时间的检验。这里我想分享一个亲历的关于Arduino的感悟。

2011年末的一天，北京迎来了入冬的第一场雪，那时我刚好在北京出差。考虑到要再添置几块Arduino的控制板，特别是Arduino Nano系列的，于是我主动联系了北京的一个算是小有名气的卖家，卖家本身也是Arduino爱好者。按照卖家提供的地址，我来到一座20世纪90年代早期风格的居民楼，穿行于阴暗、狭窄的走道，敲开了一个勉强能看清门牌的铁门，映入眼帘的是一个狭小的一居室，床、办公桌、一张茶几，几个小板凳，房间再也无法容纳下多余的摆设了。起初，我以为自己走错了，直到看到脚下的智能小车，还有曾经在《无线电》的彩页中见过的机械臂。卖家很热情地接待了我，通过聊天得知，卖家是一个和我年龄相仿的电子工程师，工作闲暇时，出售Arduino相关控制板和配件。

与故事中的卖家相比，我自认为拥有一个相对“奢华”的电子制作及实验环境，那是我与父亲共同构建的家庭电子实验室。

我的家庭电子实验室

“冰冻三尺非一日之寒”，家庭电子实验室的构建也不是一夜之间的事情，其中的各项设备和元件都是我和父亲经历了多年的积累才沉淀下来的。下面就让我来晒晒“我的设备，我的实验室”。

我的家庭电子实验室构筑于书房的一角，“斯是陋室，但可以调电路，编程序”，一张工作台，一个仪表架子而已，这些都是父亲用货架角钢DIY的。

工作台分为3层，上层存放各类元器件，中间摆放次常用仪表，下层为操作台面。工作台的灯光，是我精心挑选的台湾宝工放大镜夹式工作灯，亮度适中，可近可远，亦上亦下，与工作台绝对是“天作之合”。

1. 常用器件——“一个都不能少”

作为一个电子爱好者，拥有一些基本的元器件是必须的。各式电阻、电容，常用二极管、三极管，三端稳压集成电路，晶体振荡器等元件都需要有足够的库存。这么多的元件在一起，分类和排列就成为一门艺术了。我没有选择购买大量的塑料抽屉，而是将生活中的一些“废物”充分利用起来，我认为，这才是做为一个DIYer的追求。这里重点介绍一下我的电阻盒。

我的电阻盒其实就是一个装牛奶的盒子。将一个大信封，裁剪成数个大小相等小纸袋，按照电阻的阻值分别装入不同的小纸袋中，并在袋上标注阻值。网购几袋混装的色环电阻，经过几个周末的分拣，再找个装酸奶的纸盒，或者装月饼的盒子，将小纸袋按照标注的阻值大小进行排列，一个可支撑日常电子DIY使用的电阻盒就初具规模了。采用同样的方法将电容，二极管、三极管等器件进行分拣和归类。

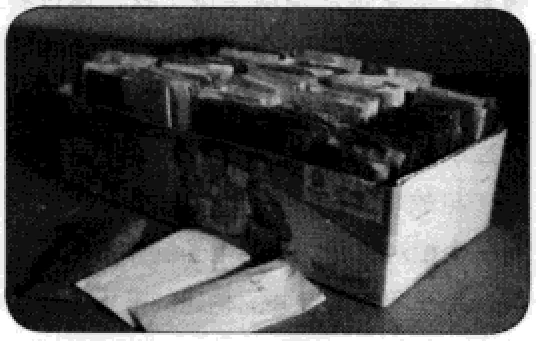


图4 废物利用，我的电阻盒

日常DIY离不开一些塑料插接件、航空插头，跳线等器件。简单的试验性电路可以使用面包板与杜邦线，方便调试与拆除；复杂或成品的电路，则依靠万用板（洞洞板）进行焊接，因此常备一定数量的万用板也是很有必要的。如果考虑Arduino扩展板的制作，双面万用板能使手工布线更加方便。

2. 仪表装备——“我的机动部队”

仪器和设备是电子DIY过程中不可或缺的一部分，“工欲善其事，必先利其器”，其实说的就是这个道理。万用表、电烙铁是最初、最简单、也是最经济的配置，慢慢地，随着经济能力的提升，我也逐步添置了一些其他的设备，如示波器、高位台式表、白光焊台等，这些设备主要以上网淘得的二手仪表或购买套件DIY为主，下面就让我们一起检阅这支“机动部队”吧。

◆数字万用表：我拥有数块数字万用表，当然其中不乏有山寨产品。目前，挑大梁的是近期新入的一块优利德UT60C，自动量程，用起来也算得心应手。个人认为，万用表不一定非得追求国外FLUKE等高端品牌，如果不是出于发烧收藏为目的，国产的胜利、优利德等品牌已经是业余电子DIY的不错选择了。

图5 数字万用表列队完毕

◆指针万用表：父亲早些年使用的一块外磁式MF500型万用电表。据父亲介绍，此表在20世纪80年代的中国算是高端产品。指针表平时用得不多，老古董了，却依然工作正常，反应灵敏，可用在一些特别的场合。

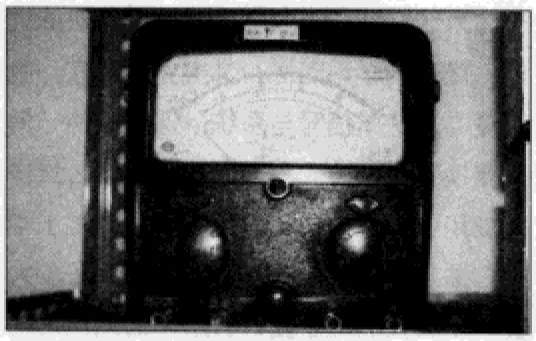


图6 曾经辉煌，现已老去的指针表

◆HP3455A 五位半-六位半数字台表：出于研究为目的，去年在网上花三百大洋淘得的“洋垃圾”。还算运气，经历了三十多年的风风雨雨，此表一直工作正常，不得不惊叹国外大厂的质量和技术。HP3455A是一块在“精度发烧友”眼中根本不入流的台式万用表，其精度和稳定性均被众多行家诟病。其实，高位表在平日的DIY中应用十分有限，“爱上”高位表，其实就等于“爱上一个不回家的人”。不必说使用之前需要数小时的预热，也不必说需要定期找个基准源进行校准，就单是测量的表笔就有无限讲究，也罢，“发烧是一种病”。

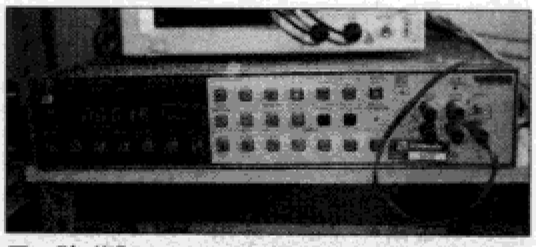


图7“初烧”HP3455A台表

◆菊水5020模拟示波器：前年在网上花两百大洋淘得的实验室退休仪表，20M双通道模拟示波器，早些年在国内市场占有率较高。一般电路测量够用了，响应速度快，波形平滑支持触发控制，现基本已束之高阁，地位基本被数字示波器取代。

◆普源DS5102MAE数字示波器：去年鸟枪换炮，在网上淘得，几乎全新。双通道100M模拟带宽，1GSa/s实时采样，还有数字滤波、波形录制、光标测量等功能，尽管是单色显示，但基本能满足DIY未来3~5年的需要（如果不损坏的话）。其实，示波器并不属于爱好者必备仪表，算是“旧时王谢堂前燕，飞入寻常百姓家”，近年来，随着数字集成技术普及，业余爱好者才开始逐步配备。

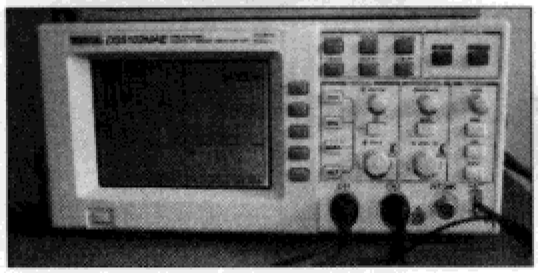


图8 “新欢”——普源数字示波器

◆信号源：信号源和示波器是一对搭档，“信号拍档”！信号源是和数字示波器一同上网淘得的，八成新，能够产生0~2MHz正弦、方波、三角波信号。

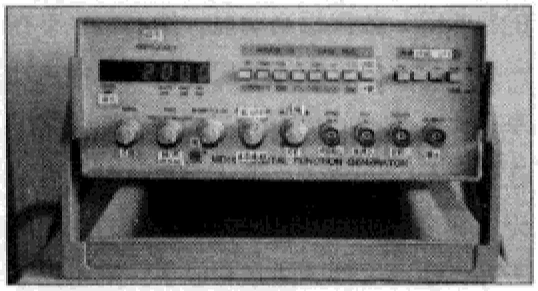


图9 “山寨”味颇浓的信号源

◆自己DIY的白光焊台：T12白光焊台，是去年我和父亲的力作（制作过程见《无线电》2011年第12期：T12白光数显控制器DIY经验分享）。现在白光焊台基本取代了陪伴我多年的日本goot烙铁。升温快，烙铁头上锡方便，温度可控，“白光焊台，我看行”！

◆自制简易数显连续可调电源：父亲基于线性元件LM317制作的简易数显可调电源。0~20V连续可调，电压、电流数字显示。体积小，一般情况下，我都使用它。

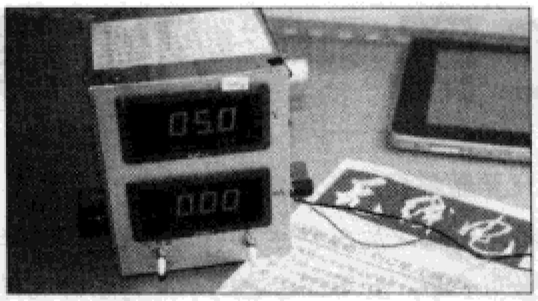


图10 父亲DIY的数显连续可调电源

◆DIY的“春风”数控稳压电源：某知名网站发行的开源套件，0~30V/4A数控稳压电源，具有恒压、恒流等功能，电源纹路小，算是一款性价比高的可供DIY的数控稳压电源，电源的外壳是父亲采用铝合金型材DIY的。

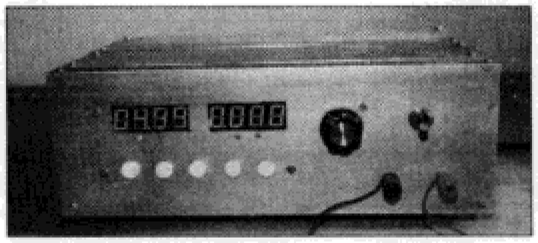


图11 “春风”数控稳压电源

3. 五金工具——“DIY因你而精彩”

如果你认为电子DIY仅仅是焊接元器件，那么你就错了。组装电路只是DIY过程中的一部分，如何有更好的体验，比如去包装一个作品，去制作一个外壳，都是很重要的，但也最容易被忽视的问题。

电子DIY的过程，离不开螺丝刀、镊子、斜口钳等五金工具，另外锉刀、钢锯、手电钻、热熔枪等也是在平日的DIY中经常使用到的。在我的家庭实验室中，我拥有成套的螺丝刀、各式的镊子，斜口钳，剥线钳等，所有的这一切都井然有序地摆放在一个工具箱里。

开孔、钻孔是DIY过程中最基本的工序了，由于家庭空间的限制，已然没有钻床的“容身之地”了；此外，钻床古老的“身板”也与家庭装修格格不入了，“not fashion”。将已有手电钻与一个支架完美组合，“一秒钟变台钻”，就可以使得开孔、钻孔的工作事半功倍，手电钻既可以手持灵活操作，也可以固定在支架

图12 五金工具箱——我的“十八般兵器”

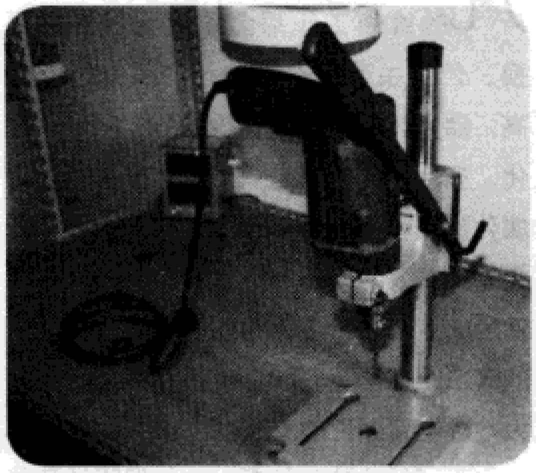


图13 手电钻十支架，“一秒钟变台钻”

上，通过下移控制柄“指哪钻哪”。当然了，这样二合一的方式，在寿命、性能、精度上和钻床还是不可同日而语的。

从小心翼翼地积攒每一个元器件，到满怀欣喜地淘得每一台二手仪表，一点一滴的，一个家庭业余电子实验室初步成形了，它也是我和父亲多年的积累与付出的成果。“无丝竹之乱耳，无案牍之劳形”，父子俩可以全身心去享受电子DIY的乐趣，电子制作之美，这，正是家庭电子实验室所带给我们的！

随感、随想

我住的地方很安静，且被树木和鱼塘环绕，在喧嚣的都市中也算是一片世外桃源了。喜欢在寒冷静谧的深夜，一个人独自坐在工作台前组装电路，一杯清茶，灯光暖暖相伴，烙铁烟雾袅袅，看着发光二极管闪烁的光影，万用表上跳跃的数字，还有示波器上舞动的波形，这一刻心沉寂下来了，时间似乎也为之而停止，感受电子DIY的魅力，这是心的港湾……

另辟蹊径造工具——吹锡器

◇韩涛

我们只要能够获取方向集中、具有一定压力与流速的气流，就可以把存在于PCB金属化孔中与元器件引脚之间的锡全部吹走。在吹走锡的同时，由于气流的降温作用，让其表面残存的锡膜迅速冷却，使得二者之间不再有熔锡的连接，从而可以轻松取下元器件。

凡是涉及电子产品的硬件维修，90%的维修工作都会涉及元器件的更换。但是由于现在的电子产品安装密度高，器件体积微型化、模块化，PCB双面化、多层化，尤其是双面板和多层板的金属化通孔应用普遍，使得DIP、SDIP和各类直插封装元器件的拆除比较困难，新器件的安装往往更令人头痛，因为拆除器件的PCB通孔里面一般都会留有残锡，会极大地影响新器件的安装就位。

为了解决这些问题，人们发明了各种吸锡工具，如吸锡绳，手动吸锡器、电动吸锡器等。本人也都用过这些吸锡工具，效果可以说是参差不齐。吸锡绳价格虽然相对低廉，对付焊点多余的焊锡效果不错，尤其适用于贴片器件的后期处理，可是它用于元器件拆卸就显得力不从心了，它无法去除元器件与PCB紧密接触部位的锡，也无法清除PCB通孔中的锡，而且质量好的品牌吸锡绳价格也不便宜。

手动吸锡器分为电加热和非电加热两种，原理基本相同，都是由弹簧带动活塞产生负压，早期还有一种是用一个橡皮球产生负压的。各类吸锡器外形各异，如图1所示。

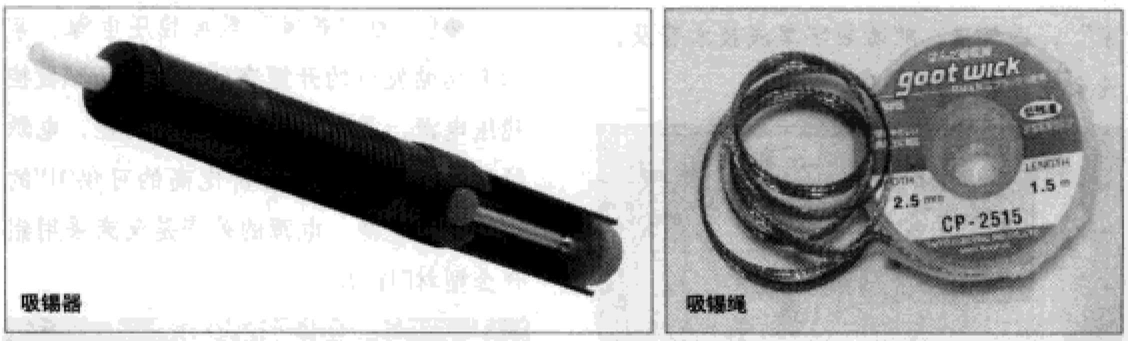


图1 常用吸锡工具

这种吸锡装置因为吸锡嘴比较大，难以在高密度的PCB上使用。另外，由于弹簧释放的时候会产生较大的振动，使得吸锡嘴非常容易产生跳动，既影响了吸锡嘴的精确定位，又造成吸锡嘴与PCB不能紧密接触而形成漏气，从而使吸锡效果大打折扣。还有就是里面的残锡不容易清理干净，会导致活塞密封圈的磨损，从而缩短使用寿命。

当然，这类吸锡器因为价格便宜、使用方便、便于携带等优点，仍然广受爱好者青睐。特别是在处理大型器件如行输出、管座、变压器等元器件的时候，它能够发挥出不错的效果。但致命缺陷就是在对付双面 PCB 的时候，几乎是无能为力的。

电动吸锡器是比较高端的吸锡器械，比较常见的有HAKKO（白光）、Weller（威乐）等。

图2所示是HAKKO分体式吸锡烙铁。图3所示是HAKKO一体式吸锡烙铁。图4所示是Weller分体式吸锡烙铁。

电动吸锡器是由微型真空泵产生持续的负压，通过电加热吸锡嘴，将焊点上面的锡吸除，效果相当明显。然而它也存在一些不足之处，吸锡嘴尺寸偏大，加热功率较大，长时间使用容易损伤PCB线路，在处理配合间隙较小的PCB通孔时，有时无法将金属化孔与器件引脚之间的锡清除干净，使得器件无法顺利取下。同时由于国内生产的厂家较少，性能也不稳定。进口品牌的器材价格较高，再加上分体式的构造使它携带也不方便，现场维修几乎见不到它的踪影，远未达到普及的程度。另外，上述各种吸锡器都有一个需要经常清理残锡的麻烦。

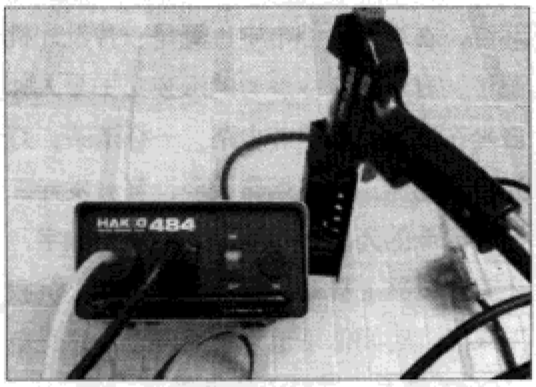


图2 HAKKO分体式吸锡烙铁

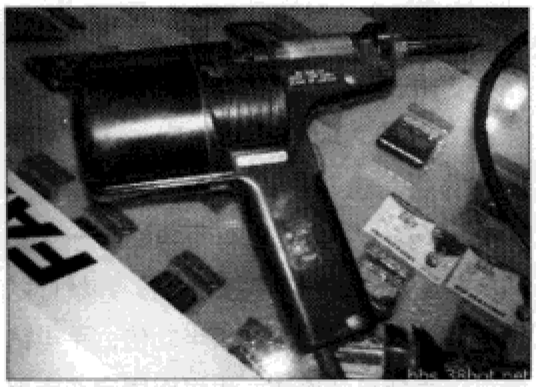


图3 HAKKO一体式吸锡烙铁

图4 Weller分体式吸锡烙铁

长久以来大家对吸锡器的注意力都集中在“吸”的问题上，这固然没错，可是由于其吸锡工作原理的局限，实际操作中很难保证锡嘴与PCB焊盘的紧密接触，大部分气流是通过吸嘴四周的间隙进入吸锡嘴的，而不是通过PCB通孔进入吸锡嘴，进而造成了元器件不能顺利拆下的后果。

找到了产生问题的原因，就可以设法加以解决，但是如果继续从“吸”的方面入手，看来并非上策。因为那么多专业厂家也没有完全解决的问题，就说明“吸”的办法确实有局限性。既然此路不通，那有没有其他的路可以走呢？笔者经过一番思考，决定完全摒弃以“吸”为手段的方法，采用逆向思维的理念，反其道而行之，改用“吹”的办法。

行不行呢？答案应该是可行的，因为基本的生活常识告诉我们，如果你手头有一本封面落满尘埃的杂志，你觉得用嘴吹掉尘埃容易呢，还是用嘴吸掉尘埃容易呢（在这里排除卫生等方面的因素）？答案我不说你也知道。

从工程方面来讲，得到正压气流要比得到负压气流容易得多。为此，我们只要能够获取方向集中、具有一定压力与流速的气流，就可以把存在于PCB金属化孔中与元器件引脚之间的锡全部吹走。在吹走锡的同时，由于气流的降温作用，让其表面残存的锡膜迅速冷却，使得二者之间不再有熔锡的连接，从而可以轻松取下元器件。在气流的方向、压力和流速这三者的关系中，气流方向最为关键，只有垂直于PCB的气流才能达到最佳的除锡效果。这个最基本的要求必须通过器械的巧妙设计来解决，不然的话，一切将无从谈起。

“吹”的方案既然可行，那新的器械也应该同时满足以下5个方面的要求：（1）效果显著，（2）使用方便，（3）制作简单，（4）便于携带，（5）成本低廉。只有满足这些要求，新器械才能具有良好的实用性和较高性价比。怎么才能达到以上的要求呢？笔者在脑海中反复模拟推演，发现完全可以利用我手头的一些没有用的但是舍不得扔掉的“垃圾”来制作。

说干就干，首先找出已经损坏了的水银血压计，如图5所示，它的充气球和胶管正好是我需要的东西。

它的两头各有一个单向阀，一个进气，一个出气，交替工作，产生的单向气流大小也比较合适。这个东西大一点的医药商店都可以买到，淘宝价格4～6元，可以说是真正的价廉物美。气源产生的问题解决了，接下来要解决的是怎样把气流精确、垂直地导入到PCB焊点的上方，与焊盘、元器件引脚、金属化通孔紧密接触。考虑良久，还是空心针管最为合适，它取材容易，规格多样，价格低廉，只要套在元器件的引脚上就同时完成了定位和气流导向的功能。我找出了打印机加墨的针头，量了一下，外径1.2mm，内径0.8～0.9mm，完全能够套在DIP、SDIP封装的IC和大多数元器件的引脚外面，如图6所示，只要把针尖打磨平了，就可以直接使用了。

另外，我又去电子市场购买了两枚点胶机上用的G16、G14号针头，如图7所示，其内径分别是1.26mm和1.6mm，价格也是相当便宜的，1.5元/枚。

只要选用内径比器件引脚稍大一点的针头，操作的时候套在元器件的引脚上就可以达到精确定位以及与PCB焊盘紧密接触的效果。

为了能够适用于在放大镜下面操作，我特地制作了一枚有一点角度的空心针，方法是找一根可以插入空心针的钢丝，插入钢丝后将空心针的前端弯成合适的角度，然后拔出钢丝就行了，如图8所示。

这个小工具整体的制作没有多少技术含量，一般人10min就可以搞定。首先是把加墨针头的尖端用锉刀或者砂轮打平，点胶机的针头本身就是平的，就不需要处理了。再剪一段血压计上面的胶管，这种胶管质量非常好，壁厚而柔软，弹性

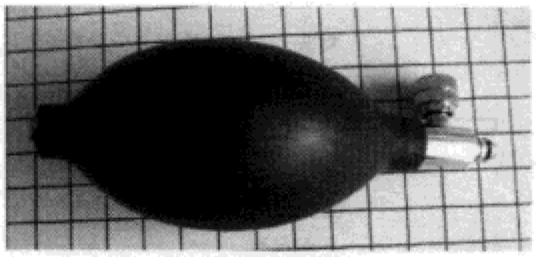


图5 水银血压计上的充气球

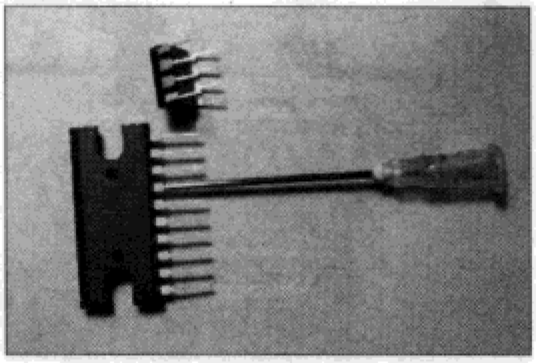


图6 打印机加墨针头与元器件引脚较为合适

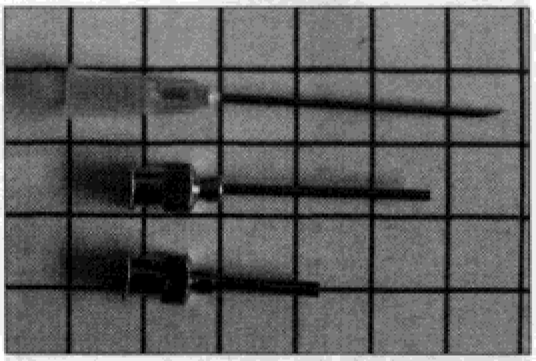


图7 G16、G14号针头（下）

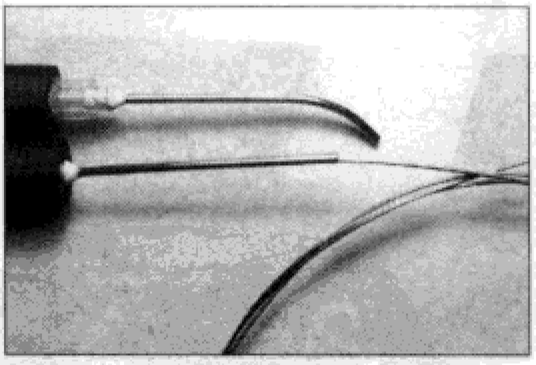


图8 将针头弯折出一定的角度

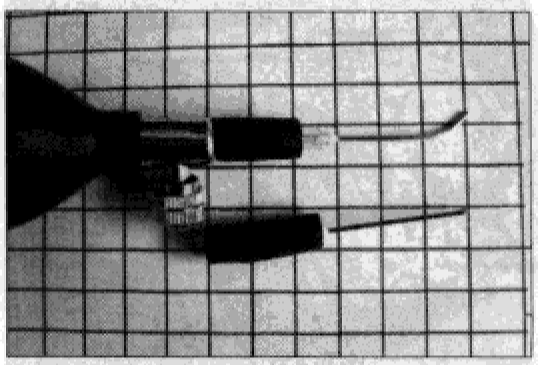


图9 基本制作完成的吹锡器

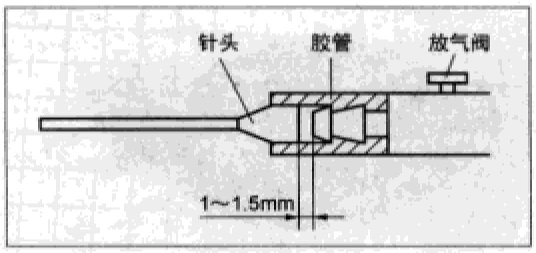


图10 针头与充气球装配示意图

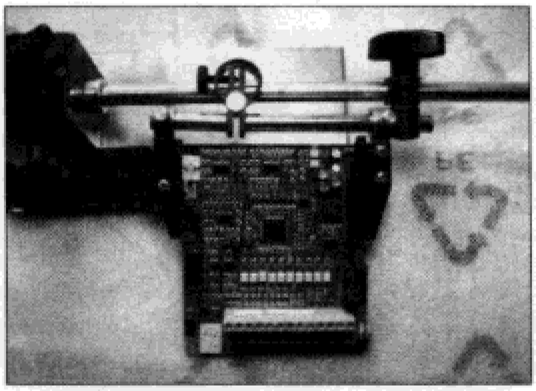


图11 简易的PCB夹具

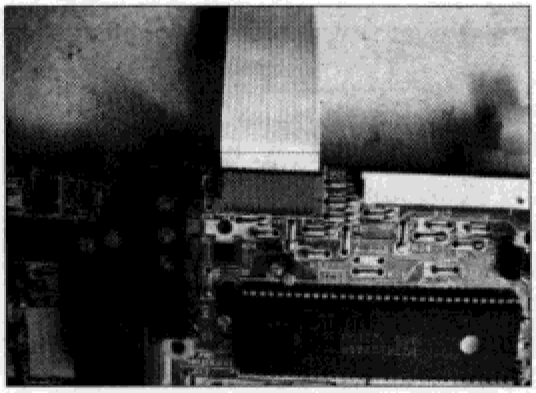


图12 拆排线的插座练习

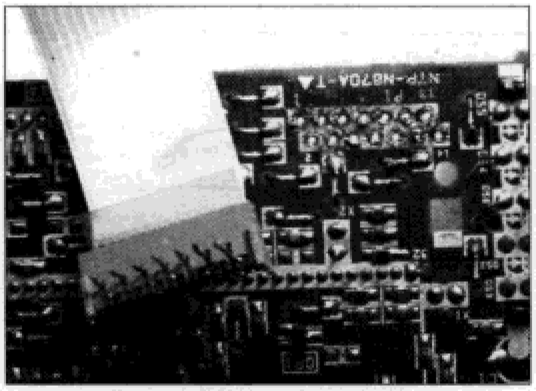


图13 拆卸完成之后排线与PCB板完好

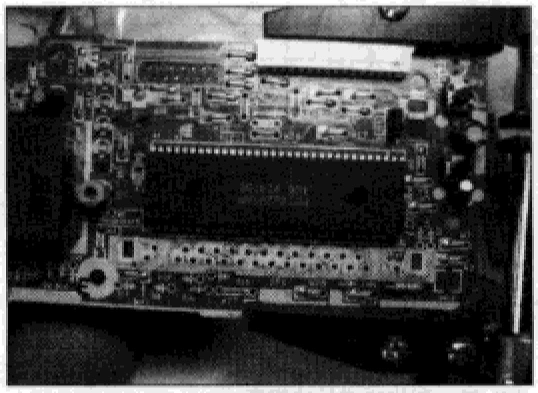


图14 拆解64脚IC的练习

十足。通过针头、胶管与充气球之间简单的组合，就成为一个十分实用的吹锡工具了，如图9所示。

需要注意的是，在实验过程中，空心针虽然已经套住了元器件的引脚，完成了精确定位和气流导向的要求，不会发生偏移和打滑的现象了，但是由于是手工操作，很难做到针头与PCB焊盘全方向垂直。为了解决这个问题，在组装的时候，针头尾部与充气球的出气阀端面应该留有1~1.5mm的间隙，如图10所示。

这样处理的目的是使针头与充气球之间形成一种有一定强度的柔性连接，实际操作中只要保持基本的垂直状态，待焊盘上面的锡充分熔化后，轻轻地往下用力，空心针的端面就会自动适应PCB焊盘的平面了。PCB焊盘与空心针的紧密接触，使得排出的气流尽量通过PCB通孔释放，从而达到清除通孔与元器件引脚之间的焊锡的目的。

具体操作过程也是相当简单的：第一步，首先把PCB固定好，小的板子应该用PCB夹具固定，图11所示为笔者用废旧的百分表磁性表座改制的PCB夹具。大的板子也应该设法安放平稳，PCB的稳固与否是事关下面工作成败的基本条件。第二步，根据焊点大小把烙铁温度设定在350~450℃，把烙铁头在湿海绵上清洁干净，上一点松香焊锡丝。清洁烙铁头是为了增强热量的传导性，沾少许松香焊锡丝是因为现在的多层板焊点表面的锡较少，烙铁头上有一点锡就可以提高热传导和锡的流动性，每一个焊点的处理前都要重复这两个程序。第三步，根据元器件引脚外露的长度不同进行不同的操作，外露长度比较长的，可以先把空心针套上去，不要套到底，用烙铁熔化焊盘上面的锡，待到焊盘上面的锡充分熔化以后，撤出烙铁的同时把空心针压到底，并挤压充气球，这三个动作几乎是同时完成的，必须要一气呵成才能达到良好的效果。经过这三个步骤，一个焊点就处理完了，可以接着进行下一个焊点的处理了。刚开始的时候可能会因为两手协调的原因，有点手忙脚乱，只要多练几次就会好的。

下面看看实际使用的效果吧。首先练习拆排线的插座，如图12所示。通常这种塑料排线插座因为不耐高温，所以比较难拆卸，而且拆坏的几率极高，用我的新方法拆卸就很顺利，PCB和插座本身都是完好无损的，如图13所示。

再拆一块DIP封装的64脚IC，如图14所示，相信不少人都会为拆这个像蜈蚣一样的家伙感到头疼。

笔者在不是很熟练的情况下15min轻松搞定，成功拆除后的图片如图15所示。拆除IC后所有的PCB的孔都是通透的，大大方便新器件的安装，取得了一举两得、事半功倍的效果。

平时的维修工作中常常还会遇到各种接线端子的拆卸，那么这个简单的小工具是否能够胜任呢？如图16所示，结果同样令人满意。

最后谈谈关于我在试用中发现的一些小问题。

1. 烙铁停留时间的长短问题应该根据器件、PCB的不同灵活掌握。总的原则是小器件、小焊点和单面PCB停留2~4s，大器件、大焊点和多层PCB停留4~6s。

2. 有时候一排或者两排焊点都处理完了，但是器件还是不能顺利取下怎么办？产生这个问题的原因多是还有个别引脚的锡没有处理干净。那么怎样判断具体是哪个脚没有处理干净呢？如果是单排引脚的器件就轻轻晃动器件本身，同时注意观察PCB通孔中引脚的状态，正常情况下处理干净的引脚也会产生晃动，如果哪个脚不动，则说明这个引脚的锡没有处理干净，如果是双排引脚的器件，则用尖头镊子直接在PCB反面轻轻拨动器件的引脚，如果发现哪个引脚拨不动，那么就是这个引脚的锡没有处理好。

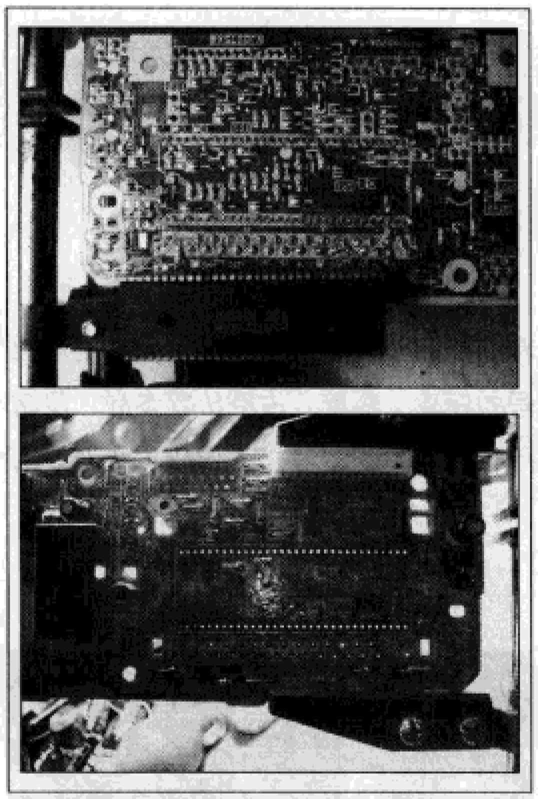


图15 成功拆除64脚IC后

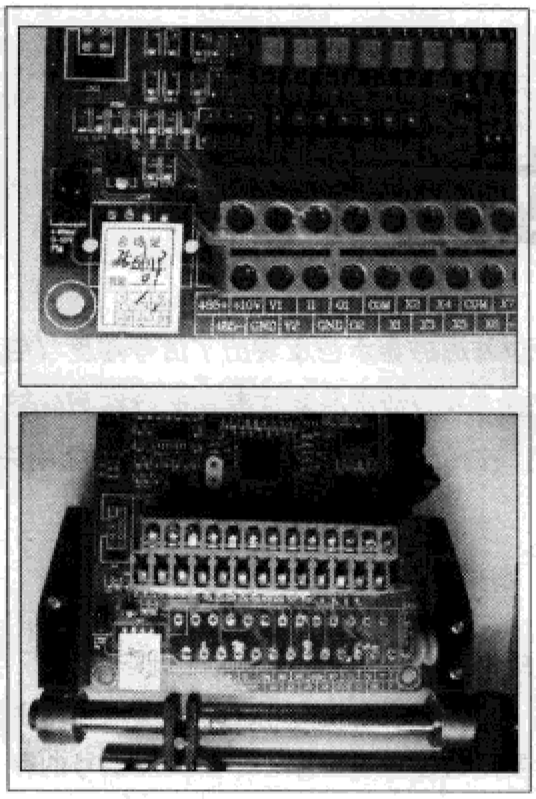


图16 接线端子的拆卸同样适用

没有处理好的引脚必须重新处理，需要特别注意的是，首先要对没有处理好的引脚用新的焊锡丝进行补焊，补焊的目的是因为只有焊点上面有足够的锡才能良好地进行热量传导，用新的焊锡丝是因为焊锡丝里面有松香，可以提高锡的流动性和渗透性，进一步提高热量的传导性能。补焊完成以后再重复上面的第二和第三步操作。

3. 有的引脚不是垂直的怎么办？可以先把焊点上面的锡熔化了以后，用空心针套住矫直就行了。

经过实测证明，采用“吹锡”的方法还有另一个令人欣喜的优点，维修过电脑主板的朋友都知道，为了换几个鼓包的电容而拆下旧电容不容易，想重新安装新的电容就更难，因为金属化孔的孔壁有残锡，造成新电容的引脚很难插入。笔者在测试这个小工具的过程中发现，在拆卸有些引脚为圆型的直插器件（如电容、电阻）的时候，当有些器件引脚与PCB通孔的配合过于紧密，有时也不能把锡完全吹出，这时候可以用传统的办法把器件拆下，这些器件只有两个脚，拆卸还是相对比较方便的，然后再用尖头烙铁充分加热焊盘，同时用本工具吹走通孔中的残锡就可以了。

2012年上海国际无线电展——无线电通信、生活、爱好类产品的展示舞台

将于2012年8月28-30日在上海世博展览馆举办的第4届上海国际无线电展(CHINA RADIO 2012)正在有条不紊地筹备之中。今年展会将邀请哪些参展商亮相，将展示哪些无线电方面的最新技术和产品，想必是每一位计划参展和参观的朋友们特别关心的问题。在此，我们初窥一下本届展会的展示内容和展览亮点。

基础展示项目——无线电通信

无线电通信关注的是无线电收发、无线通信方案、应急服务、测试分析等方面的无线电通信产品。其中无线收发设备包括以天线、对讲机为主导的手持设备、便携及车载设备、固定台站设备及相关零配件。

新生展示项目——无线电生活

无线电生活关注的是导航测定、车房医娱、户外应急方面的无线电生活产品。其中，无线电导航产品包括有测向设备、定位设备等，日常生活中的无线电产品包括无线电技术在汽车、住房、医疗、娱乐等大众日常生活领域的最新产品和应用，HAM无线电生活必需品包括应急救援、户外装备、房车露营、车载通信等方面的产品。

传统展示项目——无线电爱好

无线电爱好关注的是天线、个人无线电设备、仪表工具、新潮科技DIY制作方面的爱好类产品。

现场还会设置莫尔斯码培训、无线电操作手训练课程、相关书籍及杂志展示、无线电收藏品展示、DIY作品展示等内容。

对展览内容的精准、细化是专业展览会主办方，也是参展商的展前必备工作之一，它有助于展商和观众明确其参加的需求、目标和计划。无论是基础展示项目——无线电通信、还是新生展示项目——无线电生活，或者是传统展示项目——无线电爱好，上海国际无线电展（CHINA RADIO）都将以无线电市场用户和行业发展需求为导向，着力邀请高质量的供应商出展，欢迎专业观众参观，它将是今年初秋无线电行业不容错过的年度盛会。

更多展会和展馆信息，可查询 www.chinaradioexpo.com和www.chinahamexpo.com。

示波器ABC

◇何为超　李体青　马中江

示波器基础应用4例

示波器的传统基本功能是显示波形，通过波形的显示也反映出了信号幅度（电压）和周期等特性。现代数字化示波器增强了对信号特征参数的自动化测量功能，目前主流入门级产品基本都具备自动测量输入信号的频率、幅度、占空比等参数。逻辑分析功能是一些现代示波器扩展出的新功能，在传统示波器上通过扩展单元提供多条并行的数据采集通道，主要应用于对数据通道上数据流的分析。

因为示波器显示与测量交流信号的能力远强于万用表，所以在交流信号的应用方面，示波器向来具有无可匹敌的优势。实际应用中，示波器的应用根据需要分为多个层次。低端的基础级应用比较简单，主要利用示波器的基本功能，看一下信号的波形和幅度，总体属于定性测量，对测量数据的精度要求低，对设备的要求也很低。大部分家电维修和生产流水线作业都属于这个层次，也是最为广泛的应用。

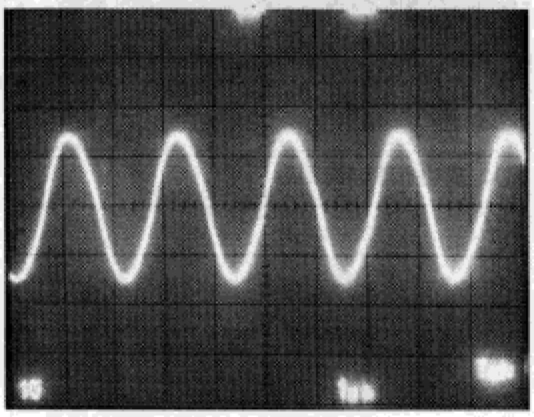
专业应用通常属于常规实验室级的应用。这一级别的应用对示波器测量数据的精度有一定要求，已经属于定量级的测量，测试信号的复杂程度也有一定提升。为了确保波形和幅度测量的准确性，一般对示波器的带宽余量和性能有较高的要求。常见的研发工作室、企业质控检测都属此类，也是主流的应用。

高端应用一般是指高级实验室级应用。这一级别应用对示波器测量数据的精准性有很高的要求，有的几乎是计量级的要求，测试项目的专业性也很高，可能会用到眼图之类。同时，测试的信号也会是一些复杂信号和高速数据流信号。高端应用需要高性能甚至顶尖的示波器，通常都是计量检测实验室和国家级实验室用的。这些高端示波器与入门级产品在性能和功能上都有很大的不同，现代高端专项测量越来越多地使用到专门的针对性测试分析软件，以提高测量效率，减少误差。

示波器在模拟电路中的基本应用主要是通过查看波形，了解交流信号的存在，方便直观地判断晶体振荡电路、VCO电路、频率合成电路是否有稳定的信号输出，以及锁相环电路的工作状态。通过查看波形的幅度，可以了解信号输出的稳定程度，以及输出信号电压是否达到预期值。在交流放大或衰减电路中，通过输入与输出信号的幅度变化，可以方便地了解实际放大（衰减）量。通过观察放大器输出波形，可以判断放大电路工作点状态以及是否存在交越失真、削顶失真等明显的电路失真情况。如果你对信号频率测量精度（分辨率）要求不高，那么，很多示波器还能当频率计来用。在数字电路中，通过示波器可以观察到A/D或D/A转换器输入/输出工作状况，利用数字示波器的深存储功能，可以方便地记录和分析数据流，甚至利用有些示波器具有的逻辑测试功能追踪、锁定特定的码型。在一些线材性能测试中配合专用程序，还能进行高速数据传输时线材串扰性能的测试。

应用一　U盘的故障判断

U盘是现代电脑用户广泛使用的移动存储介质，广泛应用于数据搬迁、数据存储、数据备份。由于U盘体积小巧，不为用户所重视，存放过程中容易受到冲击或



U盘内晶体振荡器正常工作时的波形

意外掉落到地上，导致出现电脑不认U盘的故障。U盘的自身价值虽然不高，但对于用户来说，往往U盘内存储的资料更为重要，所以积极要求维修。从标准U盘结构上来说，U盘核心主要由主控芯片和外挂FLASH两大部分组成，此外，还有外围电源电路，包括一个5V转3.3V稳压电路。主控芯片一般都需要外接一个石英晶体振荡器，为其提供时钟频率。所有这些元器件中，相对最为脆弱的就是石英晶体，严重的撞击很容易导致晶体的损坏或虚焊。

如果晶体振荡器出现硬件故障，典型的表现是PC不认U盘。如果是主控芯片的固件故障，典型的表现为PC不能正确识别U盘（但至少侦测到有新硬件增加）。通常正品U盘IC封装的主控芯片和FLASH芯片完全损坏的概率很低，常见问题多出在石英晶体和电源电路上。所以，大部分U盘维修时，需要首先测量5V输入电压和

3.3V稳压输出，然后再根据测量情况怀疑晶体振荡器和主控。5V电压来自于USB端口供电，有的U盘在5V电源通路上还有一个过流保险器件。3.3V电压是由U盘内部稳压集成块产生，典型的稳压集成块一个脚输入5V，一个脚输出3.3V，另一个脚接地。在确认供电没有问题后，一般就开始检查晶体振荡器电路。

过去没有示波器，很多维修者都采用盲目换晶体的做法，现在有了示波器，晶体振荡器电路是否工作可谓一目了然。U盘内部元器件不多，晶体振荡器很容易辨认，常见的有金属管状形式和金属贴片封装，共同特点是采用金属外壳封装。将U盘接上电源（插入USB接口），将示波器CH1通道开启，并设定AC耦合，将探棒接触晶体的一脚，按动示波器上的“AUTO SET”按键，查看示波器屏幕上是否有稳定的波形出现。如果你的示波器有频率自动测量功能，不妨顺便看一下晶体振荡器的工作频率。

正常情况下，示波器测量显示晶体振荡器的工作波形应当是清晰的正弦波。如果显示波形杂乱（应排除干扰和测量方法不当）或是基线无反应，则考虑振荡器损坏或虚焊。对于没有自动设置功能的旧款示波器，首先看基线是否有变化，如果基线完全没有变化，说明晶体振荡器没有工作，检查一下是否存在虚焊，要是补焊无效，继而可以尝试更换一块同规格的新晶体。如果基线有变化，则手动调节幅度挡位和时基挡位，使晶体振荡器的波形显示出来。晶体测量时，注意要选用1:10的探头或探头挡位，这样可以减少对原电路的影响。如果经检查，供电正常，晶体振荡电路正常，那么按维修顺序，就该怀疑主控芯片是否正常了。

除了U盘以外，很多家电遥控器内的晶体元件也同样是脆弱部件，常由于跌落、撞击，导致损坏，同样可以利用示波器进行快速判断。与U盘不同，家电遥控器内的晶体很多是塑料外壳封装的。

应用二 直流稳压电源纹波的测定

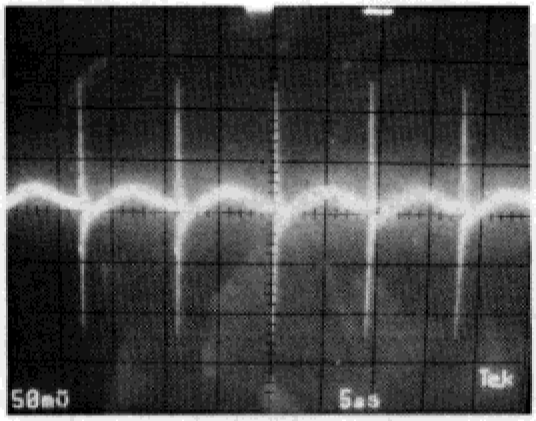
纹波是衡量直流稳压电源性能的重要标志，纹波即直流稳压电源输出直流电中叠加的交流分量。通过示波器可以方便地测定直流电中的交流分量。尽管有的时候，我们也用数字万用表的交流电压挡直接测量直流电源的纹波，但由于万用表交流响应带宽的问题，会影响到测量数据的准确性，所以在正规场合，依然采用示波器来测定直流电源的纹波。

测量直流电源的纹波系数，除了示波器，还需要准备一个负载器。因为大部分直流稳压电源在不同负载水平下纹波幅度是不一样的，一般认为在电源满载输出时，纹波是最大的。目前正规的测试中大多数用的是专用的电子负载，它可以设定恒定电阻、恒定电流等模式。由于不同电子负载自身品质、性能问题，以及高性能产品价格昂贵的原因，所以有很多场合依然使用传统的大功率可调电阻作为线性负载，电阻的功率与测试直流稳压电源的最大输出功率有关。对于一些电子爱好者，大功率可调电阻价格依然不算便宜，而且不容易买到，“土办法”是用一段电炉丝来代替。

测量直流稳压电源纹波通常的方法是：

第一步，开启电源设定输出电压（如果是可调稳压电源）。

第二步，接入负载器，调节负载器，使电源输出电流达到测试方案设计值（一般要求电源输出电流或功率大于标称容量的80%）。



电源纹波与高频噪声在示波器上的表现

第三步，开启示波器的一个通道，使用AC交流耦合模式，将示波器探头连接到电源的正极，探头接地端与电源接地端可靠连接（接地线尽量短）。

第四步，按动示波器“AUTO SET”按键，查看示波器显示的波形。

第五步，开启示波器的测量功能，选择自动测量波形幅度（一般幅度测量设定为“峰-峰值”，有的测试要求使用“有效值”）。此时，显示出来的交流电压幅度即是电源的纹波水平。对于开关电源，除了开关纹波外，还会存在明显的高频噪声，其幅度通常要比纹波更大。高频噪声在示波器上表现为窄幅的类似垂直线图形，纹波则表现为类似波浪的宽幅波形。有的商业（厂家）测试方案中，要求示波器在20MHz带宽限制模式下测量，那么可以在示波器设置菜单中开启20MHz带宽限制功能。另外，直流稳压电源尤其是目前主流的开关电源，包含多次谐波，如果测试方案有要求，我们就需要手动调节示波器的时基，测量多个频率上谐波电压幅度。

要了解稳压电源直流输出中谐波分量的分布情况和不同频率谐波的幅度，需要通过频谱分析的方式来测量。现在很多数字存储示波器都具有FFT频谱分析功能，虽然入门级数字示波器FFT频谱分析功能的性能与专门的频谱仪相比还不强大，但也是可以利用的。在频谱分析状态下，我们可以直观地看到在频率轴上对应谐波频率处突起的尖峰，尖峰的高度与谐波信号在该频率点上的强度（功率）有关。

需要注意的是，正确的测量方法将减少测量误差，甚至得到更好的测试数据。探头应尽量接近电源的输出端。对于一些电源板子，甚至可以直接将测试点选定在输出滤波电容端，接地点尽量靠近测试点。探头接地线应该尽量短，有时示波器探头自带的接地线依然嫌长，有需要的可以自制更短的接地线。电源板上一些电感附近干扰较大，测试点应尽量避开。

应用三 入门级数字存储示波器FFT操作

要了解稳压电源直流输出中谐波分量的分布情况和不同频率谐波的幅度，需要通过频谱分析的方式来测量。过去这类测试需要专业的频谱分析仪，现在很多数字存储示波器都具有FFT频谱分析功能，虽然入门级数字示波器FFT频谱分析功能的性能与专门的频谱仪相比还不强大，但也是可以利用的。在频谱分析状态下，我们可以直观地看到在频率轴上对应谐波频率处突起的尖峰，尖峰的高度与谐波信号在该频率点上的强度（功率）有关。

目前大部分入门级数字存储示波器都内置有FFT功能，FFT功能是通过快速傅里叶变换，将信号由时域变换到频域进行分析，示波器通过FFT就能具备频谱仪的基本特性。实际上，限于成本和商业原因，示波器的FFT频谱分析功能与同级别的专业频谱仪还是有很大差别。不同档次的数字示波器配备的FFT性能差异明显。对于手头没有频谱仪的用户来说，利用示波器内置的FFT功能一窥信号频谱分析，依然具有一定的实用意义。

通常，入门级数字存储示波器的FFT功能通过手动光标操作，可以测量FFT频谱图上特定点的幅度和频率参数。具体操作是：

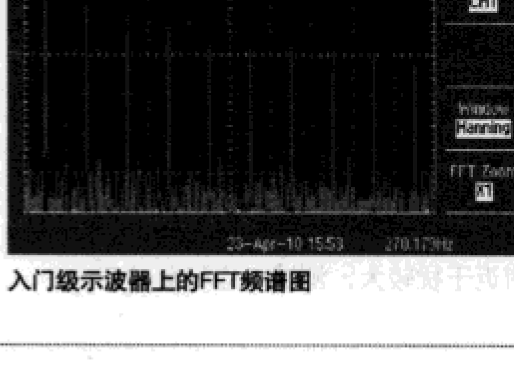
第一步，进入示波器FFT功能模式，这时示波器屏幕显示的画面由我们熟悉的波形图变换成频谱图（有的示波器支持波形/频谱上、下双窗口显示）。频谱图是由X轴和Y轴构成两维信息图，水平方向的X轴为频率轴，频率从左至右依次升高，垂直方向的Y轴为幅度轴，电压/功率从下至上依次递增。被测信号根据自身的频率和幅度，以谱线的形式显示在频谱图上。如果被测信号占用一定带宽，就会在频谱图上出现类似山峰的图形。高级数字示波器的FFT功能只要用MARKER定位频谱图上的信号位置，就能自动显示出该信号的频率和幅度信息，对于入门级示波器则往往需要手动测量。

第二步，进入光标设定菜单将光标模式选择为“手动”。

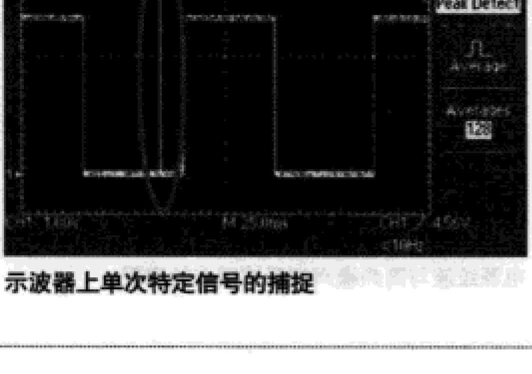
第三步，选择光标类型为“*X*”或“*Y*”。设定光标为“*X*”，可手动测量频谱图上信号的频率值，设定光标为“*Y*”，可手动测量频谱图上信号的幅度值，幅度值单位常用的有V、dBV、dBm三种。

第四步，手动调节光标，使光标线对准频谱图上显示出来的信号，对信号进行测量。进行频率测量时，光标线应该定位于信号中心位置，进行幅度测量时，光标线应定位于谱线最高位置，光标线位置对应的数值通常是直接以数字形式显示在数据区域的。对于大部分入门级数字存储示波器，一个信号在FFT模式下的频率与幅度都需要分别单独手动测量。

输入信号的直流分量容易导致FFT波形的偏差，所以建议使用FFT模式时，选用AC交流耦合输入挡。将示波器的获取模式设置为“平均获取”方式，可以减少偶发脉冲事件的随机噪声和混叠频率成分，有利于FFT波形显示。频谱图上的幅度单位常见的有V、dBV、dBm三种，dBV是一种以对数形式表示的电压单位，dBm是一种以对数形式表示的功率单位，后两种都有利于表示大动态幅度范围，在频谱幅度显示中，一般优先使用后两种单位。



入门级示波器上的FFT频谱图



示波器上单次特定信号的捕捉

应用四 单次特定信号的捕捉

捕捉波形中的偶发异常事件是数字存储示波器典型应用之一，通常用来捕捉异常脉冲与毛刺等非周期异常信号。与常规连续观察波形不同的是，特定信号的捕捉一般都是单次捕捉，并记录波形，不会像连续观察波形那样稍纵即逝。

示波器设定对特定信号波形的捕捉，主要通过设定特殊的触发方式来实现。一般我们连续观察波形使用的是自动触发或者普通触发方式，属于连续触发。要对特定信号波形进行捕捉，首先要对特定波形特征有所了解，如窄脉冲特征，幅度高于正常波形的毛刺或脉冲，然后进行针对性设置。例如，我们需要对可能存在幅度较大的尖峰、毛刺波形进行捕捉，那么通常进行如下设置：

第一步，进入触发“TRIGGER”控制菜单，设置触发参数：触发模式选择“边沿触发”，边沿类型选择“上升沿”，信号来源选择“CH1”，触发方式选择“单次”，耦合类型选择“DC直流”。

第二步，设置适当的时基与幅度挡位，一般以适合显示正常信号为参考。

第三步，调节触发水平旋钮，设定触发电平，对于大幅度尖峰、毛刺的捕捉，可将触发电平设定在比正常信号最高电平高一点点。

第四步，按动“RUN/STOP”按键，静候示波器的捕捉成果。

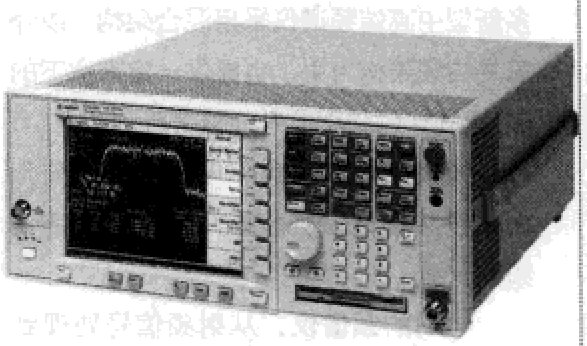
另外，如果要捕捉特定的脉冲信号，如窄脉冲，可在触发模式中选择“脉宽触发”，然后进一步设定触发脉冲条件，即设定触发脉冲是正脉冲还是负脉冲，以及触发脉冲宽度条件大于、等于、小于指定宽度等。

频谱分析仪ABC

◇杨法（BD4AAF）

频谱分析仪基础知识必备

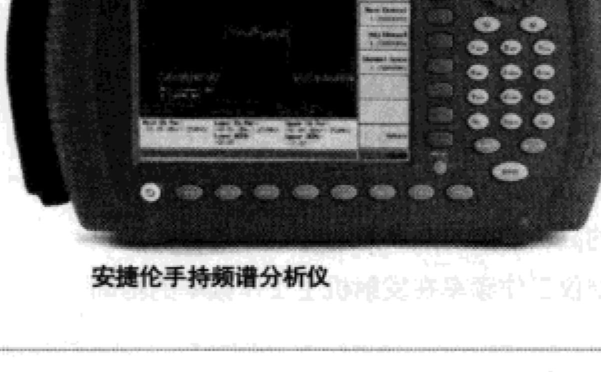
频谱分析仪是一种信号频域分析仪器，传统经典频谱仪以直角坐标系曲线图的形式展现信号在一定频率范畴内的占用情况和信号幅度。随着现代无线电通信应用的日益增多和射频技术的不断发展，在射频领域频谱分析仪的应用越来越广泛，需求量也剧增。频谱分析仪提供的功能涵盖了多种传统单项仪表，素有"射频万用表"之称。现在很流行的EMC电磁兼容测试应用中，频谱分析仪是绝对的主力仪器。甚至在无线电频谱监控和雷达以及电子战中，频谱分析仪都扮演着重要的角色。



现代数字化技术赋予了频谱分析仪更多的扩展功能，并且提高了测量效率，减少了人为误差。随着频谱仪硬件的全面数字化、软件化，小型化轻型化的手持频谱仪崭露头角，这些"另类"频谱仪有部分通过附加一些专用软件成为便携型的高级场强仪、干扰分析仪、射频分析仪、测向仪等多用途仪器。

过去一些滤波器和槽路都需要凭经验"多点统调"，现在在频谱仪上可以直接看到实时曲线调节，既直观又方便，更有利于质量品质控制，对于操作人员的经验和技术要求大大降低。

虽然对于网络特性检测，现在有了更专业、性能更好的矢量网络分析仪，但由于"频谱仪+跟踪源"价格相对便宜，且实用性强，所以在专业和业余应用中依然都占据相当的比例。



安捷伦手持频谱分析仪

频谱分析仪的应用

原始应用	在一定频率范围内搜索信号的存在，并显示信号的幅度	
传统应用	测量信号的幅度、场强或功率、搜寻寄生信号和杂散信号	
典型应用	测量VCO或频率合成器的输出，看信号输出频率是否准确，幅度是否达到预期水平，同时还能观察信号输出的频谱纯度，即高次谐波与杂波的情况	
	频谱信号搜索功能	检测和调试发射机杂波散射
	峰值保持功能	测量瞬时信号和时分信号的功率/频率
	续频谱显示特性	测量信号的带宽占用和邻道功率
	高灵敏度宽频接收特性	进行电磁环境测试
拓展的新应用	检测和调试二端口网络的频幅特性，检测调试滤波器、衰减器、双工器	
	配合跟踪源，测量衰减器、电缆及一些射频器件的衰减特性	
	配合驻波电桥（反射电桥），测试天线的频幅特性，得到直观的频幅曲线图，就能为判断天线实际中心频点和工作带宽提供重要依据	
	数字化功能	频谱瀑布图显示、网络分析、天线分析、调制域分析、自动化测量等功能

形形色色的频谱仪

从工作原理架构上，频谱分析仪可以分为外差式扫频型频谱仪和FFT实时频谱仪。

外差式扫频型频谱仪原理上与超外差接收机差不多，频谱图是通过快速依次扫描连续频率获得的。这是最早频谱仪采用的架构，并一直沿用至今。目前即便一些中高档产品依然是这个主体架构，当然具体实现电路和附加功能早已今非昔比了。

严格来说，外差式扫频型频谱仪提供的频谱图并不是实时的，有一个从频率低端向高端扫描的过程，只是在正常情况下，扫描完整个频率区间需要的时间很短（大部分是几十毫秒到几百毫秒），频谱曲线图得以维持较高的刷新率，用户就感觉屏幕上显示的频谱曲线是实时变化的。如果你将频谱仪扫宽SPAN设置得过大，分辨率RBW又设置得很小，那么单屏频谱曲线图生成会很慢，你会明显地看到频谱图从左到右依次扫描形成。理论上，这样的频谱生成原理会丢失掉一部分偶发的信号。

实时频谱仪使用FFT等技术，通过运算的方式获得频谱图，理论上不容易遗漏

瞬时信号，还可以同时为频谱图提供更高的刷新率。实时频谱仪技术属于一种新型的架构，目前经过科技人员的努力，实时频谱仪的带宽最大实时处理带宽已经可以达到100MHz左右水平。目前一些高端的频谱仪纷纷采用这类实时频谱技术。很多新型中高端频谱仪采用混合架构，以外差式扫频架构为主，也提供一定带宽下的FFT模式，供精密信号分析之用。

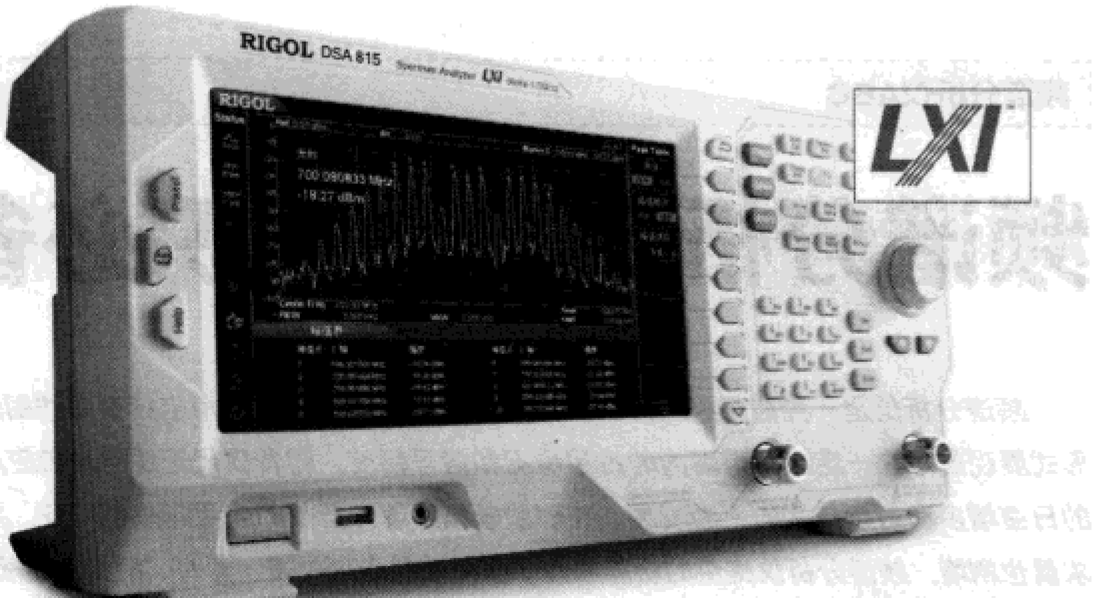
频谱分析仪从实际电路上可以分为模拟线路频谱仪、数控频谱仪、数字化频谱仪。

早期的频谱仪，从射频信号处理到中频信号处理一直到利用示波管显示出频谱图，都是通过模拟线路来实现。这类频谱仪提供了最基本的频谱占用显示和幅度显示。早期的产品基本没有自动化测量功能，具体频率和幅度都要用户根据显示屏的刻度去“数格子”，功能比较单一，后期的产品渐渐融入了一些单片机控制的自动测量技术，增加了屏幕上的字符发生器，实现了自动测量和屏幕读出。

早期和目前低端频谱仪都没有采用频率合成技术，而是采用压控振荡器，用户不能通过键盘直接输入频率，只能通过频率旋钮改变中心频率。采用电位器调节的压控振荡器结构虽然成本较低，但操作便捷性和频率稳定度都不及目前主流的频率合成技术。这类频谱仪技术含量低、成本低，目前市场上低端频谱仪依然采用这类模拟线路的结构。

数控频谱仪是在纯模拟线路频谱仪基础上发展起来，这类产品在射频信号处理、中频信号处理、滤波器方面依然还是传统模拟电路，但后期处理和系统控制使用了数字化微电脑技术，使得频谱仪的自动化控制和自动测量能力大为提升，同时全面采用频率合成技术，在频谱仪操作面板上出现了频率直接输入的数字键盘。

第二代数控频谱仪虽然依然使用CRT像管显示，但已不需要使用示波管和示波管上的刻度了，而采用的是电视CRT管，屏幕上显示的频谱图也是由处理单元重建的图像，后期的一些产品所幸紧随潮流步伐，纷纷改用更为轻巧的液晶显示屏了。



标志有LXI字样的数字频谱仪

TIPS

LXI是基于以太网技术的模块化仪器平台，它具有以往GPIB的易用性、可靠性和VXI的高性能。LXI仪器配置灵活，接口通用性强且成本较低，以太网数据吞吐量高，已成为新一代自动化测试和系统集成的理想平台。

后期的数控频谱仪是目前中小单位应用的主力，其操控界面奠定了现代频谱仪操作界面的风格。数字化频谱仪是在数控频谱仪的基础上，将原有的一些模拟信号处理电路和模拟中频电路用数字化DSP线路替代，并增强了机器的数据处理能力，提供了更高的扫描速度，目前典型的应用是数字化中频的频谱仪。通过DSP技术和高速数据处理技术，以前一些昂贵而又复杂的模拟线路被简化了，例如很多价格不菲的传统滤波器在DSP器件中都能以软件的方式实现，无论在硬件成本还是在体积重量上都有很好的收益。数字化频谱仪与许多后期的数控频谱仪在外观上没有明显的区别，所以很多时候被大家统称为“数字频谱仪”。

很多新款的频谱仪我们都可以看到标上了LXI字样。这表明该设备应用了LXI总线结构，这是一种比较新型的模块化结构，也是仪器界发展的潮流。LXI是一种基于以太网技术工业标准的由中小型总线模块组成的新型仪器平台。使用LXI总线结构并不限于频谱仪，与频谱仪的性能高低也没有必然直接的联系。

主要参数指标

工作频率范围 频谱仪工作频率根据硬件设计有上限和下限。一般目前主流中档数字射频频谱仪工作频率的下限在9kHz水平，通过选件可以低至100Hz。一些高端的射频频谱仪最低工作频率可达3Hz水平。除了在无线电射频实验室中常见的射频频谱仪外，还有一些专门用于较低频率信号测试的频谱仪，如音频频谱分析仪和低频信号分析仪，这些频谱仪下限工作频率都很小，有的可以小于1Hz，不过它们的上限工作频率都不高。大部分射频用户都更关心频谱仪工作频率的上限，频率下限对射频应用实用意义不大。

现代无线电通信使用的频率越来越高，对频谱仪工作频率范围也提出更高的要求。公众移动电话系统从早期的800MHz、900MHz扩展到1800MHz、1900MHz、2100MHz频段，Wi-Fi、蓝牙、无绳电话使用到2.4GHz和5.8GHz频段。很多无线电测试中还需要检测发射机的高次谐波的杂波散射情况，这就要求频谱仪工作频率在发射机主工作频率的基础

上提高3倍以上。目前,一般中高档频谱系列都能提供20~50GHz的最高工作频率,高端产品可以通过拓展超过300GHz。作为入门级产品,目前最高工作频率以1~3GHz为主,能以容易接受的价格满足常规基本需要。

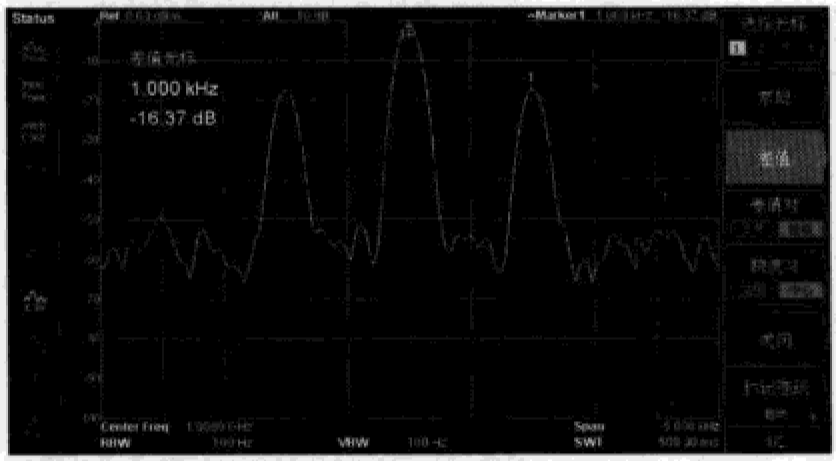
需要注意的是,频谱仪工作频率范围虽然是频谱仪的重要参数,但与频谱仪的性能相比并没有直接的关系。也就是说,一部最高工作频率可以到26.5GHz的频谱仪,其综合性能未必好于一台标称最高频率只到7GHz的频谱仪。

动态范围 频谱仪的动态是指其硬件结构处理信号幅度的能力,常见的指标有最大混频器电平、二次谐波失真SHI、三阶互调失真TOI。中高档频谱仪对此类指标比较看重。

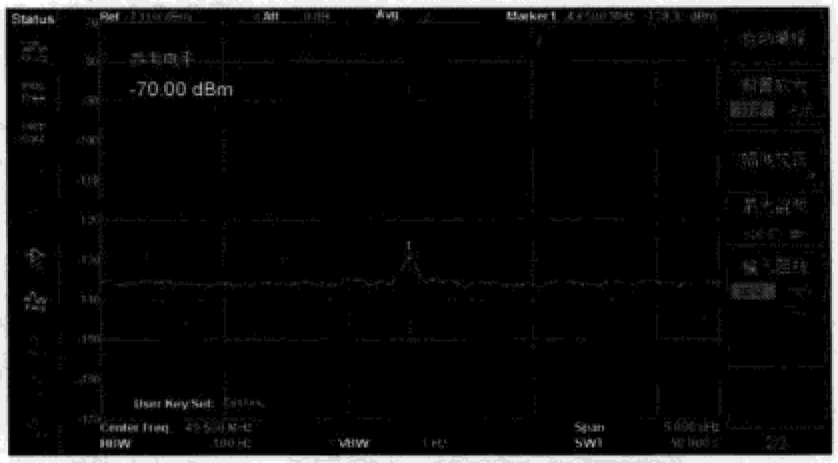
最小分辨率带宽 一般是指频谱仪提供的最小RBW,是体现频谱仪硬件性能的重要指标。在对窄带信号进行精密分析应用中,使用较小的RBW在频谱图细节的展现上有明显的优势。频谱仪的分辨率带宽与仪器频率显示小数点后的位数无关。一般老式的模拟频谱仪最小RBW大多在10~100kHz水平,主流入门级数字频谱仪最小RBW为100Hz~1kHz水平,中高档数字频谱仪最小RBW可达1~10Hz水平。由于仪器分辨率牵涉到硬件滤波器,所以模拟中频的频谱仪不但成本高,而且技术复杂,现代数字中频的频谱仪使用软件滤波器,在硬件成本和硬件复杂度上大为改观,主要与硬件处理速度与软件编制效率有关。有的数字中频频谱仪虽然提供了较小的RBW,数据指标上比较好看,但由于实际硬件处理能力有限,使用最小RBW时扫描速度会受影响。

总体幅度精度 一般指频谱仪测量信号幅度的误差情况,表现为频谱仪测量准确度。通常,同一台频谱仪在不同频率区间和不同设置下会有不同的误差表现,总体幅度精度是个总括的指标,方便横向比较。一般现在入门级产品可以达到1.5dB水平,中档产品可以达到1.1dB水平,高端产品可以达0.2dB水平。如果对信号电平测量有特别要求的用户,如计量级用户,会特别关注该指标。

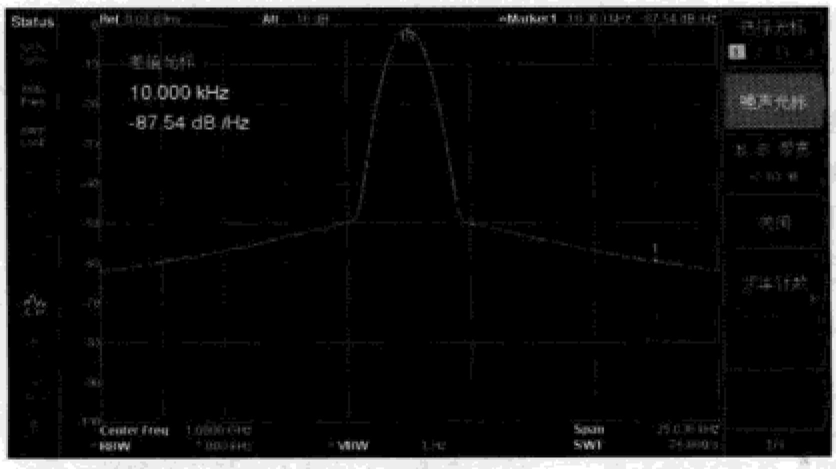
显示平均噪声电平 一般指频谱仪底噪显示水平,标志频谱仪显示发现小信号的能力。现在很多频谱仪都内置有前置信号放大器,开启前置信号放大器后有助于在高频段显示微弱的信号,不过使用前置信号放大器有时会对信号幅度测量的精确度造成一定影响,所以一般频谱仪显示平均噪声电平指标都会按是否打开前置信号放大器分开标注。在不使用前置信号放大器的情况下,过去老式模拟频谱仪在1GHz参考频率点,大多平均噪声电平在-100dBm水平,目前主流入门级数字频谱仪为-110~-115dBm水平,中档产品可以达到-120~-130dBm水平,高端产品则可低于-150dBm水平。使用前置信号放大器会使频谱仪实际显示噪声电平再降低10~20dB。



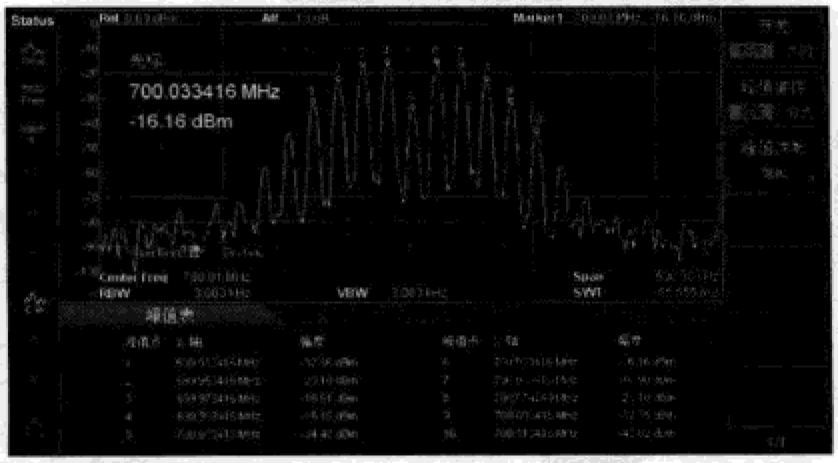
在最小RBW下的频谱图细节展现



平均噪声电平



相位噪声指标



自动峰值搜索

相位噪声 一般指在某一给定偏移频率处的dBc/Hz值，主流频谱仪一般取1GHz（10kHz偏置）时的dBc/Hz值。一般中档频谱仪相位噪声优于-90dBc/Hz，高档产品可以达到-118dBc/Hz。入门级产品和手持型产品相位噪声指标不高，很多产品在-80dBc/Hz左右。需要做高精度测量的用户和实验室级用户对相位噪声指标要求较高。

端口阻抗 常见的射频仪器端口阻抗有50Ω与75Ω之分。在通信领域以50Ω端口阻抗为主，在电视广播领域以75Ω阻抗为主。用户需要根据自己的应用需求来选择仪器端口阻抗，以确保传输匹配，否则会对信号幅度（电平）测量精度造成明显的影响。

存储记录功能 通常是指保存频谱仪的设置、预设值以及保存频谱图，大部分属于软件功能。很多现代频谱仪都支持“拷屏”功能，将屏幕显示的频谱图保存为图像文件，这样方便在测试报告或文字性材料中完美引用频谱图。早些年的频谱仪使用3.5英寸磁盘作为存储介质，现代频谱仪逐渐开始流行支持USB接口存储器（如U盘）作为存储介质。

扩展接口 是指频谱仪扩展输入输出端口。早些年的频谱仪数据和控制接口以GPIB接口为主，现在流行更为廉价且通用性更强的USB接口和网络接口。有些现代频谱仪还提供外接VGA或DVI接口，方便外接大屏幕显示。

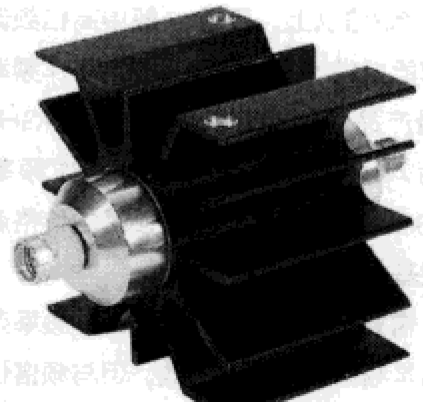
测量功能 数字频谱仪的测量功能分为通用测量功能和专项测量功能，对于数字频谱仪来说大多属于软件功能。基本的通用测量功能为频率、幅度、自动峰值搜索、最大值保持、平均值、Marker标注点测量、ΔMarker对比测量等。专项测量功能常见的有带宽占用测量、邻道功能测量等，专业的还有CDMA2000、1XEV-DO、CDMAONE、GSM/EDGE、W-CDMA/HSPA、TETRA等特定通信制式的测试。这些专项测量功能通常作为一个一个专项测量软件包另外出售。

频谱仪的好搭档——衰减器

频谱仪在闭路测量中用得最多的附件是各种衰减器。频谱仪端口允许输入的功率一般都很小，大部分主流频谱仪射频端口最大安全输入功率为+30dBm，即1W的水平，超功率输入会导致频谱仪内部衰减器系统硬件损坏。而实际上很多功率信号源（如手持对讲机、车载电台）的射频输出功率都远远大于1W，所以这时候就需要使用衰减器。

衰减器的作用是等比缩小信号的幅度，同时不改变信号其他特性。使用衰减器是使被测信号幅度满足频谱仪端口输入的要求。虽然大部分频谱仪端口输入最大承受功率可以到+30dBm，但这只是安全承受功率，并不是频谱仪工作最佳信号幅度范围。实践中，如果频谱仪输入功率偏大，有时会因为互调等原因出现假信号等意外情况，影响测试的正确性。所以，有经验的测试工程师都会将被测信号衰减到适合频谱测量的幅度，然后进行测量。实际测量中，有的工程师并不过分依赖频谱仪内部衰减器系统，因为频谱仪内部的电子衰减器使用衰减量过大，会明显抬高底噪，不利于信号的测量，还是使用外接无源衰减器效果好。

常见的衰减器有可变衰减器和固定值衰减器，这是由衰减器的衰减量是可调的还是固定的来区分的。通常可以承受大功率的衰减器都是固定值衰减器。衰减器的衰减量是指信号幅度被缩小的倍数。由于很多衰减器衰减倍数很大，所以通常习惯用dB(分贝)来表示衰减器的衰减量，同时也方便与频谱仪常用的dBm功率单位进行运算（可以直接做加减法）。10dB的衰减器就是将信号幅度缩小10倍（输入10W输出1W），20dB的衰减器就是将信号幅度缩小100倍，30dB的衰减器就是将信号幅度缩小1000倍，40dB的衰减器就是将信号幅度缩小10000倍。频谱仪常用的衰减器多为20dB、30dB、40dB规格。理论上,衰减器可以串联使用，总衰减值为串联各衰减器值相加，不过过多衰减器串联使用，会引入过多的接口损耗，对测量精度造成直接的影响。


衰减器

衰减器自身有三大指标：
衰减量、承受功率、工作频率范围。

衰减量就是对信号幅度等比缩减的倍数。

承受功率是指衰减器输入端口允许输入的功率。衰减器将信号衰减的同时，多余的能量是通过转换成热量释放的。不同承受功率的衰减器都会按照科学设计，配置大面积的散热片，大功率衰减器在长时间高负荷状态下工作发热是很明显的。一般要求衰减器最大承受功率要高于实际输入功率，否则衰减器自身容易被损坏。衰减器的承受功率有长时间承受功率和短时脉冲承受功率（也称为峰值功率），后者的功率数字可以是前者的几十倍，不过一般衰减器没有特别注明的标称承受功率都是指长时间工作的耐受功率。

衰减器有自身工作频率范围，这与产品的制造工艺有关，工作频率高的衰减器身价也高。超出衰减器标称工作频率范围使用，会使衰减量误差波动增大，直接影响对信号幅度测量的准确性。

实际使用中，也有用户在频谱仪前长期串接一个10dB或20dB的衰减器起到保护频谱仪输入端口的作用。对于需要高精度测量信号幅度的用户，衰减器与频谱仪的连接线引入的插入损耗不能忽视。

人人都懂磁悬浮

◇薛加民
◇插画：小无

能悠闲自在地悬浮在空中是“神仙”们必备的专业技能，可是成仙的道路艰险，我们凡人能不能通过别的方式实现悬浮呢？《无线电》杂志曾经传授了好几种“江湖”上速成的悬浮之法（2009年第7期《一项有趣的磁悬浮实验》、2011年第2期《DIY磁悬浮“盗梦陀螺”》及2011年第11期《不用电的悬浮陀螺》）。本文将以高中物理知识为基础，为您揭示这些悬浮背后的“秘诀”。所有的这些悬浮方式都有一个共同点，它们都用到了磁铁，故名——磁悬浮。首先我们要了解一个关于磁悬浮的重要定理。

我们小时候可能都尝试过，把一块磁铁的北极慢慢靠近另一块平放在桌子上的磁铁的北极，越靠近，排斥力越大，而且手中的磁铁像抹了油，很容易向旁边溜走。我们也可以用一根杆把一些环形磁铁串起来，如图1所示，实现“准悬浮”状态。

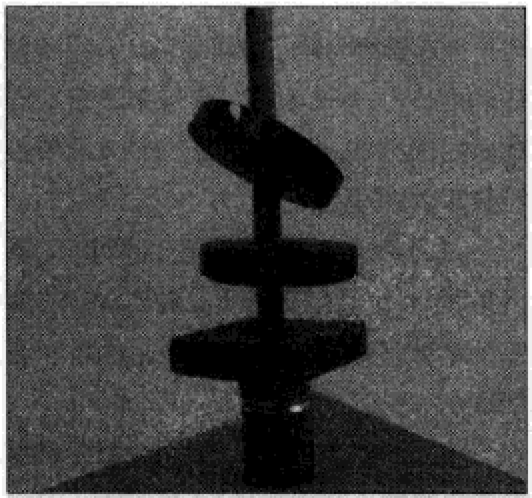


图1 “准悬浮”状态

这个装置很形象地告诉我们，上面两块磁铁悬浮在水平方向上是不稳定的。要是没有那根铝杆约束，它们就会从一旁“溜”走。但是在竖直方向上，它们是稳定的，用手往下压它们，它们还能弹回现在的位置。物理学家们把这种现象抽象了一下，提出了不稳定平衡、稳定平衡和随遇平衡的概念（见图2）。

图2 3种“平衡”概念示意图

所谓平衡，就是一个物体受的合力为零。图2中，每个小球所受的重力都被地面的支持力抵消了，所以受的合力都为零，都处于平衡状态。但是光平衡了还不够，还得待得住才行。显然，图2中第一种状态的小球是待不住的，稍微有个风吹草动，小球就滚下去了，而第二种状态是待得住的，因为就算被推开了，还能滚回到最低点，第三种状态是随遇而安型的，到哪儿都一样。如果用“势能”这个概念来描述的话，那就是不稳定平衡具有最大的势能，稳定平衡具有最小的势能，随遇平衡势能各处都一样。图1中的上面两块磁铁就像是在圆弧顶的小球，虽然重力被磁力抵消，达到平衡了，但是待不住，得

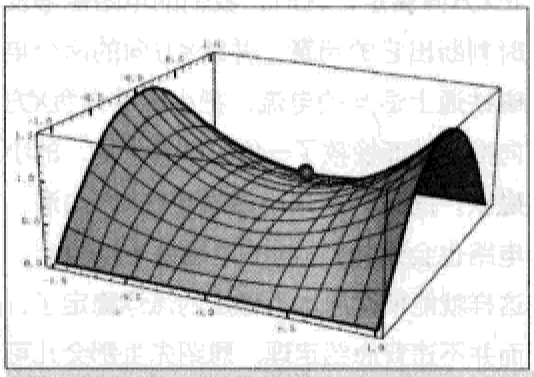


图3 静磁场的马鞍型势能形状

(A) 《一项有趣的磁悬浮实验》一文中悬浮的“苹果”

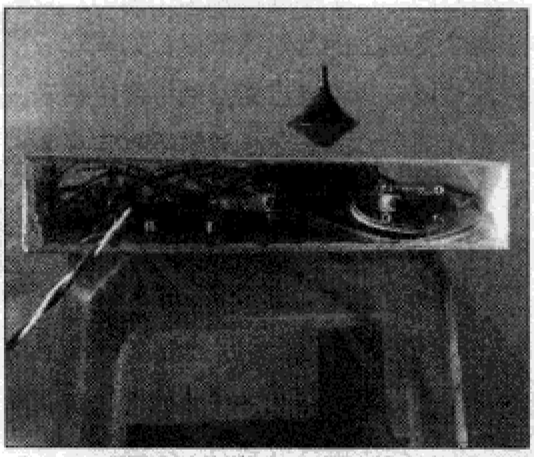
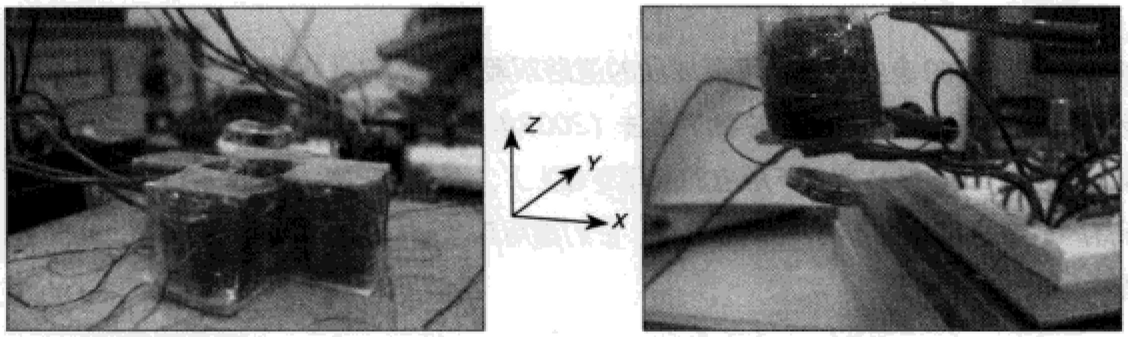

(B) 《DIY磁悬浮“盗梦陀螺”》一文中悬浮的“陀螺”

图4

恩绍定理：一块磁铁悬浮在另一块磁铁上是不可能的。

电路反馈破解恩绍定理：一块磁铁可以稳定悬浮在电路控制的电磁铁上（或下）。



（A） 磁铁悬浮在电磁铁之上　　（B）磁铁悬浮在电磁铁之下

图5

拴着才不会“溜”，属于不稳定平衡。

有人说，简单的两块方形的磁铁的确不能实现稳定悬浮，我们可以造复杂的磁铁啊。不幸的是，100多年前，一位英国的物理学家恩绍(Earnshaw)证明了这是不可能的，无论你怎么折腾磁铁的形状、强弱、排列，都是枉然。这是磁场的本性决定的。恩绍先生证明了，一块磁铁在外加静磁场（静磁场就是强度和方向都不会随时间变化的磁场）中达到平衡以后，它的势能至少在一个方向上是最大值，即在这个方向上是不稳定的。这听起来有点玄乎，看图3就容易理解了。

图3中，小球处于平衡位置，而且在左右方向上，小球还是稳定平衡的，它处于那个方向上的势能最低点。如果它被推向左边或右边，自己能回到平衡位置来。但是在前后方向上，小球是不稳定平衡，它处于那个方向上的势能最高点，如果稍微被推向前或向后，小球就一去不复返了。这种势能的形状叫做“马鞍型”势能。恩绍先生就是证明了一块磁铁在任何静磁场中，势能都是这种马鞍型的。如果我们把一块小磁铁放到另一块磁铁上方，当重力被磁力抵消时，小磁铁达到平衡。此时，竖直方向上的平衡是稳定的，势能处于最低点。而水平方向的平衡是不稳定的，势能处于最高点。

介绍完了恩绍定理，您可能会了解到磁悬浮的难处。但是，文首提到《无线电》杂志曾经刊登了数篇文章，介绍各种磁悬浮DIY。那么看来，要破解恩绍定理的魔咒也不难。下面我们就分别来看看各种破解之法的秘诀。

《无线电》杂志刊登过两篇文章（见图4），我们确确实实看到含有小磁铁的物体可以悬浮在空中了。这是怎么回事?

首先看图5（A），图中4个缠绕着绿色漆包线的小圆柱就是4个电磁铁。它们固定在一块木板上，木板底下有一个环形磁铁。在电磁铁没有通电的情况下，图5（A）的装置和图1是类似的。如果把竖直方向称为*Z*，水平方向为*X*和*Y*，则小磁铁在*X*和*Y*方向上是不稳定的。但是如果我们加入反馈电路和电磁铁，事情就不一样了。假设小磁铁受了什么诱惑，企图向正*X*方向溜走，这时，我们的电路能够及时判断出它的用意，并给*X*方向的两个电磁铁通上适当的电流，把小磁铁向负*X*方向推，从而挽救了一位“即将失足”的小磁铁。同理，如果小磁铁想往*Y*方向溜，电路也会通知*Y*方向的电磁铁予以阻止。这样就能使得原本不稳定的悬浮稳定了，而并不违背恩绍定理。恩绍先生那会儿可没有三极管和电路这些东西。

再看图5（B），这种装置类似于我们想用一块大磁铁把桌子上的小磁铁吸起来，并悬在空中。无数次的尝试告诉我们，这种情况下，*X*和*Y*方向是稳定了，而*Z*方向又不稳定了。不论你多么小心地慢慢把大磁铁靠近桌子上的小磁铁，最终都会听到“啪”的一声，小磁铁被牢牢吸附在大磁铁上。还是恩绍定理在起作用，因为定理说“至少有一个方向是不稳定的”。如果此时我们加入反馈电路控制电磁铁中的电流，情况就不一样了。当小磁铁试图靠近电磁铁时，电路减小电磁铁的电流，从而小磁铁的重力拖住了它。当小磁铁试图远离电磁铁时，电路增加电磁铁的电流，挽留住它。由于这种悬浮装置只有一个方向是不稳定的，所以电路处理起来比较简单。它们的具体制作，请参考以往《无线电》杂志上的相关文章。

2009年的上海世博会闭幕式，展示了一套悬浮在空中的编钟（见图6），它和图5（B）的装置原理是一样的。如果大家看过《无线电》杂志上的制作介绍，

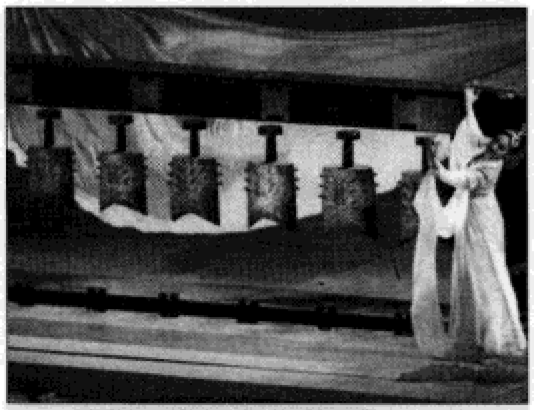


图6 上海世博会闭幕式上的悬浮编钟表演

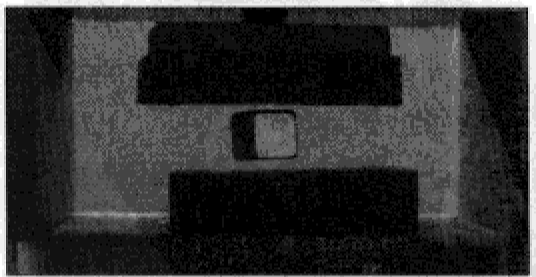


图7 笔者利用石墨片做的抗磁性磁悬浮实验（实验视频见本刊网站www.radio.com.cn）

抗磁材料破解恩绍定理：一块小磁铁可以悬浮在两块石墨之间。

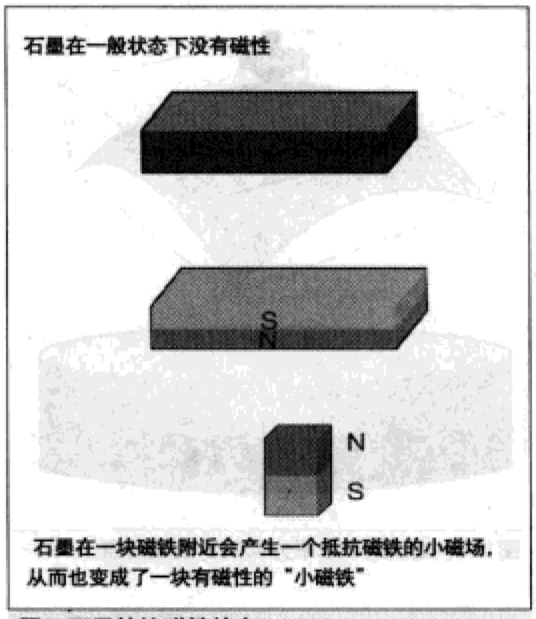
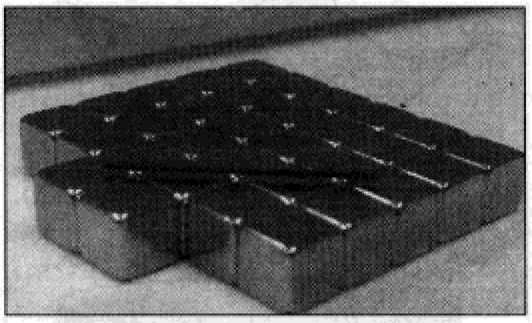
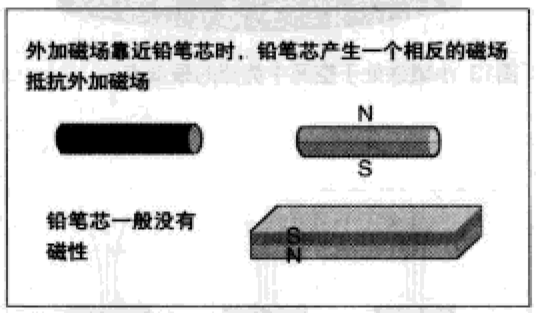


图8 石墨的抗磁性特点



(A) 铅笔芯悬浮实验



(B) 铅笔芯悬浮原理

图9

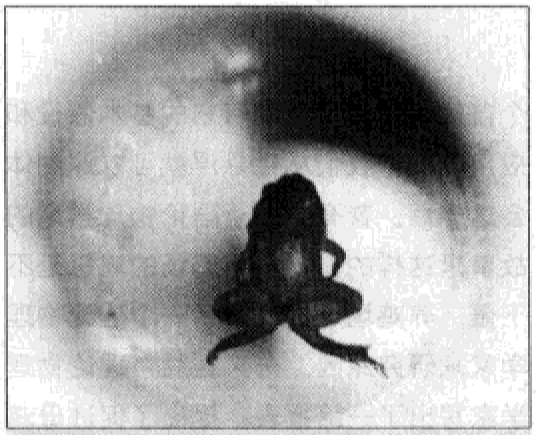


图10 研究人员做的青蛙悬浮实验

就不会被媒体忽悠，误以为这是非常高科技的新发明了。

在本期杂志上的另一篇名为《抗磁性磁悬浮》的文章中，作者展示了一块小小的强磁铁，它可以稳定悬浮在一块大磁铁下，条件是这个小磁铁被放置在两块石墨片之间。那个精巧的装置没有电路，也没有电磁铁。如果没有太大的扰动，比如地震之类的，小磁铁可以永远稳定地悬浮在半空中。它是如何破解恩绍定理的呢？

其实那个装置和图5（B）的装置有异曲同工之妙。开始曾提到，一块小磁铁悬浮在大磁铁之下，水平方向是稳定的，竖直方向不稳定。图5（B）的装置是通过电路反馈，改变电磁铁强度来实现竖直方向的稳定，而图7也是通过石墨的抗磁性来实现的。

石墨是一种非常好的抗磁性材料。抗磁性材料的特点是一般情况下不具有任何磁性。但是如果你试图拿一块磁铁靠近它，就会引起它的反抗，使得它自身产生一个小磁场与外加的磁场方向相反（如图8所示），从而被外磁场排斥。这个小磁场很小，大约只有外加磁场的万分之一，但是这已经是常温下抗磁性最强的材料了。为什么说是常温下，难道低温下有比它更强的材料吗？您猜对了，超导体是最强的抗磁性材料，它能产生一个磁场，完全抵消外加磁场，使得它内部磁场强度为零（或几乎处处为零，除了少数几个区域以外），有点“兵来将挡、水来土掩”的意思。不过要实现超导状态，目前还需要冷却到零下140多度或更低，即使在南极也不行。值得一提的是，这个零下140多度的最高超导转变温度记录是由华人物理学家朱经武和他的研究团队在20世纪90年代实现的。

现在您可能明白了图7中的小磁铁为什么稳定悬浮了。因为如果没有上面的石墨块，悬浮的小磁铁稍微向上偏离平衡位置，就会感受到更大的磁吸引力，而一去不复返地奔向大磁铁。现在上面有了石墨块，它就不能得逞了。因为它向上移动会使得上面的石墨感受到更大的磁场，从而在石墨中诱导出更大的抗磁场来向下推它。如果这个下推力增加的速度比上面大磁铁对它吸引力增加的速度要快，那么小磁铁就会被乖乖地推回平衡位置了。同理，当小磁铁稍微向下偏离平衡位置，也会被下面的石墨块给推回来。这样它在竖直方向上的不稳定性就被漂亮地打破了。

旋转的磁铁破解恩绍定理：一个旋转的磁铁可以稳定地悬浮在一块大磁铁上。

本期杂志的《抗磁性磁悬浮》一文中还介绍了一种有趣的悬浮，那就是一根铅笔芯飘在一个磁铁阵列上，如图9（A）所示。铅笔芯的主要成分是石墨，所以也会被外加磁场所排斥，原理见图9（B）。

看到这儿，您可能会说，之前图7介绍的装置还比较好理解，但图9中的铅笔芯就像是一个小磁铁，那么按照我们前面说的，一个小磁铁不应该稳定悬浮在另一个磁铁上啊！它的水平方向不是不稳定吗？这是个好问题！它的解释是这样的。我们之前的小磁铁都是永久磁铁，也就是说，他们的磁场强度是与生俱来、不会改变的，所以才有了恩绍定理。然而铅笔芯这个小磁铁是外加磁场诱导产生的（前面提到了，这个诱导产生的磁场大约是外加磁场的万分之一），恩绍先生的计算就不适用了。这种情况下，铅笔芯的势能与磁场强度的平方成正比，即磁场强的地方铅笔芯的势能高，磁场弱的地方铅笔芯的势能低。只要合适地摆放磁铁（相邻磁铁南、北极交错），就可以制造出一种*X*、*Y*、*Z*方向都是势能最低点的构型来，那样，铅笔芯就能稳定平衡了。

利用抗磁原理实现悬浮的还有超导悬浮、动植物悬浮（因为大多数物体都具有微弱的抗磁性）等。2011年因发现石墨烯而获得诺贝尔物理奖的Geim先生和一位著名的理论物理学家Berry先生曾在20世纪90年代末用强磁场（比我们用来悬浮铅笔芯的磁铁要强100多倍，需要用巨大的电磁铁产生）把一只活着的青蛙稳

定悬浮起来（见图10）。Geim先生和他的同事们还尝试着悬浮过草莓、板栗、披萨饼之类的（参见网页：http://www.ru.nl/hfml/research/levitation/diamagnetic/）。您可能会问，这些研究人员花那么多钱造强磁场仪器，难道就把它当冰箱用吗？其实不然。他们通过悬浮一些物体，可以模拟太空中才能出现的微重力环境，从而可以研究一些晶体形成、微小振动等问题，还是很有实际意义的。

2011年第11期《无线电》杂志介绍了一种非常特别的磁悬浮方式，我们可以称之为“磁悬浮陀螺”（见图11）。它也不需要用电路反馈，只需旋转小磁铁，它就能漂在大磁铁之上了。之所以单把它“拎”出来写一段，是因为它的稳定悬浮机制和前面的两种都不一样，而且非常绝妙，就连它的发明者自己当初也没有理解，直到后来由理论物理学家Berry先生从理论上解释了它的原理。

我们随便上网用中文搜“磁悬浮陀螺原理”，能找到好些试图解释这个神奇的装置原理的内容，但很遗憾，大多都是错的。错误观点大致有两种：

❶第一：有人说他通过计算可以证明，因为同性相斥，一块小磁铁可以稳定悬浮在另一块磁铁上。

这显然是不对的，不然我们费力去旋转它干嘛？而且也明显违背了恩绍定理。

❷第二：有人承认一块小磁铁不能稳定悬浮在另一块磁铁上，这是因为上面那块小磁铁会翻个。而旋转了以后，就像一般陀螺一样，它就不容易翻了，所以就能稳定悬浮。

第二个观点非常流行，有人曾经还以这个理解为基础写了一篇文章（英文）发表在学术刊物上。当然，后来他又写了一篇文章表示前面那篇写错了。我们来看看它为什么不对。

小磁铁在大磁铁上确实容易翻个，但是当我们用手指紧握住小磁铁，确保它不翻个的时候，还是会感受到它容易朝两边溜走。也就是说小磁铁是处于水平方向的

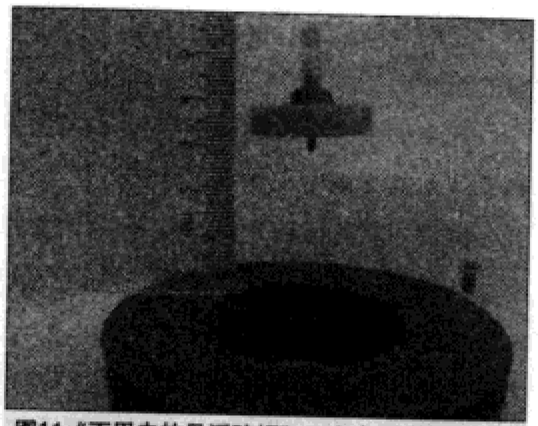


图11《不用电的悬浮陀螺》一文中的磁悬浮方式

势能最高点，是不稳定的（见图12）。那么即使我们通过旋转使得它不翻个了，它还是能昂首直立着向两旁溜走，就如同图12所示的状况。我们在一个半球顶上旋转一个陀螺，稍微风吹草动，这个陀螺还是从水平方向溜走了，于事无补啊！

通过前面的叙述，我们可以推测，旋转的小磁铁既然能够稳定平衡，那么它一定是处于空间中势能的最低点，如图13所示。那么它是怎么把原本半球形的势能变成一个碗状的势能呢？

这是因为高速旋转的磁铁陀螺与大磁铁的磁场相互作用，从而当小磁铁试图向旁边溜走时，比如向右或向左，它会稍微调整自己的朝向，使得自己和当地的磁力线方向保持一致（见图14）。在这种情况下，恩绍先生的计算又失效了，原本一个水平方向不稳定的势能活生生地被改造成了一个稳定的势能。这是因为恩绍先生的理论仅仅适用于方向固定的永久磁铁，即磁场的大小和方向都是不随时间变化的（静磁场）。他可没有料到会有人旋转一个磁铁，从而产生随时间变化的磁场。

实际上我们前面提到的各种悬浮方式都可以归结为：磁场不是永久不变的，而是可以随悬浮物体的位置而变化的，从而满足不了恩绍定理的基本假设，破解了恩绍“魔咒”。前面的两种是磁场的大小随悬浮物位置变化，而最后这种是磁场的方向随悬浮物位置变化。

写到这里，作者掷键一叹。每一

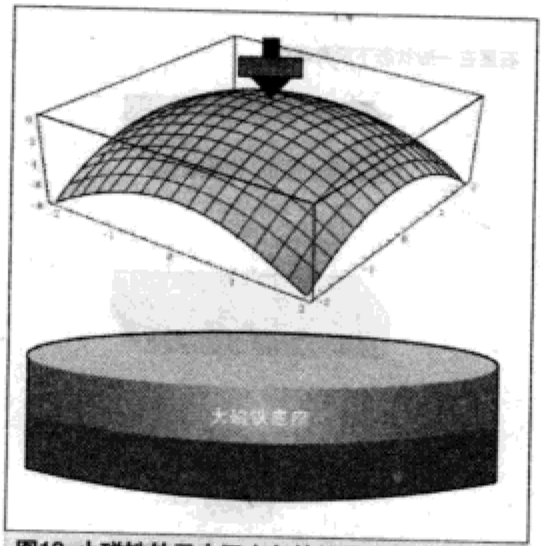


图12 小磁铁处于水平方向的势能最高点

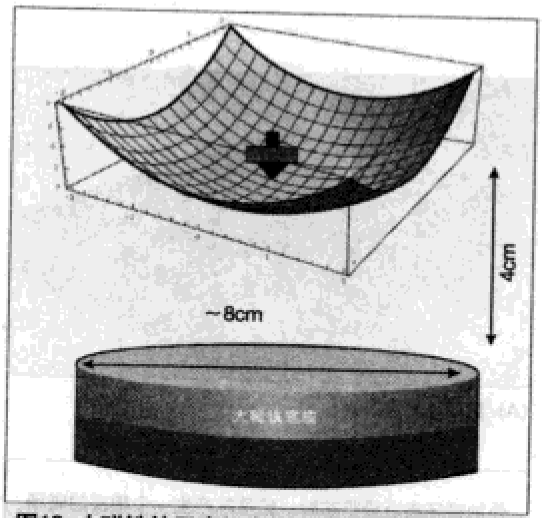


图13 小磁铁处于空间中势能的最低点

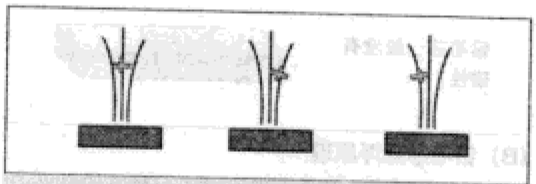


图14 高速旋转的磁铁陀螺与大磁铁的磁场相互作用关系

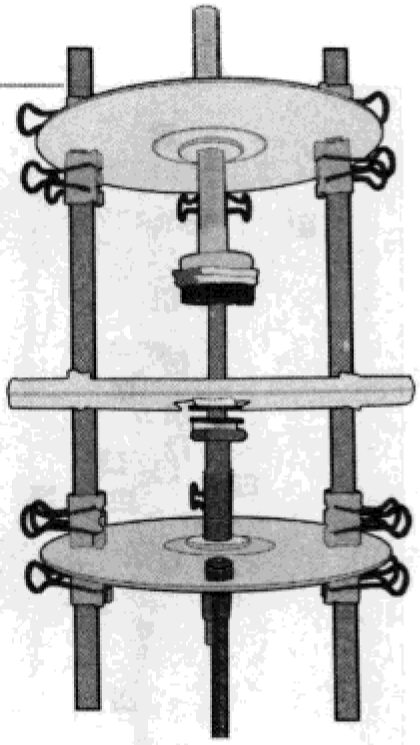
个自然科学的定理都有它的基本假设和应用范围，我们从磁悬浮就可以深刻体会这一点。曾有个关于理论物理学家的故事是这样的。一个养鸡场的鸡总是不下蛋，养鸡场老板找来了一个理论物理学家来研究原因。一天之后，理论物理学家写出了一篇报告，提出了促进母鸡下蛋的理论。报告的最后，物理学家写道：“本文中的理论仅适用于生活在真空中的正球体母鸡。”

◇王超 薛加民 ◇插画：小无

抗磁性磁悬浮

本刊曾经在2009年第7期、2011年第2期和第11期分别介绍过上拉式磁悬浮控制电路、下推式磁悬浮控制电路以及磁悬浮陀螺的制作方法，这几种装置如果想要正常地工作，则必须有外界的能量输入。对于电子控制的磁悬浮，如果断了电，装置就不工作了。对于悬浮陀螺，如果陀螺的转速下降到一定值，陀螺就会从空中跌落。

我们不禁要想，有没有不需要外界提供能量的磁悬浮装置呢？有的，抗磁性磁悬浮装置就可以满足这个要求。



什么是物质抗磁性

根据物质相对磁导率μ_r的不同，我们可以将物质划分为铁磁质（μ_r>>1）、顺磁质（μ_r>1）、抗磁质（μ_r<1）。这里需要说明一下的是，μ_r越接近于0，说明物质的抗磁性越强，比如超导体，其μ_r=0，它是完全的抗磁性物质。一般条件下，除了超导体（μ_r=0），物质的抗磁性都十分微弱，在宏观条件下不易观察，所以往往被人们忽略。

水、铜、碳等都是常见的抗磁性物质。在抗磁性物质中，石墨、金属铋的抗磁性较强，这也是我们选择石墨或者铋进行磁悬浮制作的原因（注：石墨的$x=-160\times10^{-6}$，金属铋的$x=-170\times10^{-6}$，$\mu_r=1+x$，x称为磁化率，μ_r称为相对磁导率）。

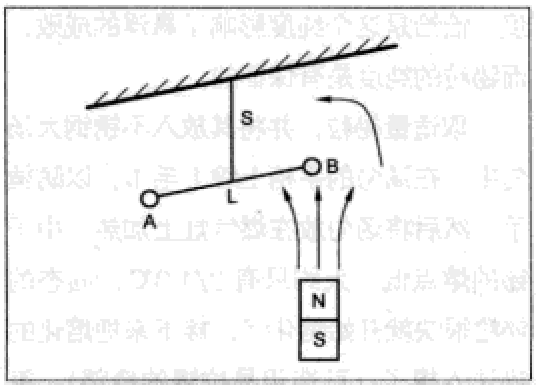


图1 演示抗磁性示意图

抗磁性物质在受到外加磁场作用时，电子轨道会发生变化，而且在与外加磁场的相反方向会产生很小的合磁矩，这样就使物质的磁化率x变成很小的负数量。

观察物质的抗磁性

我们知道了抗磁性物质在外加磁场的相反方向会产生磁矩，不过这是抗磁性物质在微观上的体现，那么在宏观上抗磁性物质对外加磁场有什么反应吗？看完下面的实验大家就清楚了。

图1所示为一个观察物质抗磁性的扭秤实验装置。大家对扭秤应该都不陌生，当年卡文迪许就用它测出了万有引力常量G，库仑也用它测出了静电常量K。用扭秤来演示抗磁性再合适不过了。

杆L可以选用较轻的木棍（牙签就行），在L的A、B端，可以一端放上抗磁性物质，一端放上配重物，然后用一段轻质细线将杆悬挂起来，此时要确保杆与地面平行。

我选用的抗磁性物质是一小块苹果，因为水果中含水量较多，水是抗磁性物质，所以水果对外呈现抗磁性。好了，接下来开始咱们的实验吧。

将一块钕铁硼磁铁的N极逐渐靠近杆的放置了抗磁性物质的B端，此时大家会发现扭秤转动了，而且向着远离磁铁的方向转动！你可以再实验一下，如果磁铁的S极逐渐靠近杆的B端会发生什么现象？其实，不论用磁铁的哪一个磁极靠近抗磁性物质，抗磁性物质都会受到斥力。这一点恰好与具有铁磁性和顺磁性的物质相反，对于这两类物质，它们始终会受到吸引力。

我们可以用此方法检验我们买到的石墨是否呈现较强的抗磁性。

制作抗磁性磁悬浮装置

有了前面的一些认识，制作抗磁性磁悬浮装置也就容易了。

图2所示即为抗磁性磁悬浮装置及原理，各个部分的详细对照如附表所示。

大家可以选用木质的筷子和废旧光盘，制作悬浮装置的骨架。取两张废旧光盘，在每张光盘上打3个孔，具体位置参照图3所示，孔的大小与筷子的直径应相近。之后，将3支筷子分别穿过其中一张

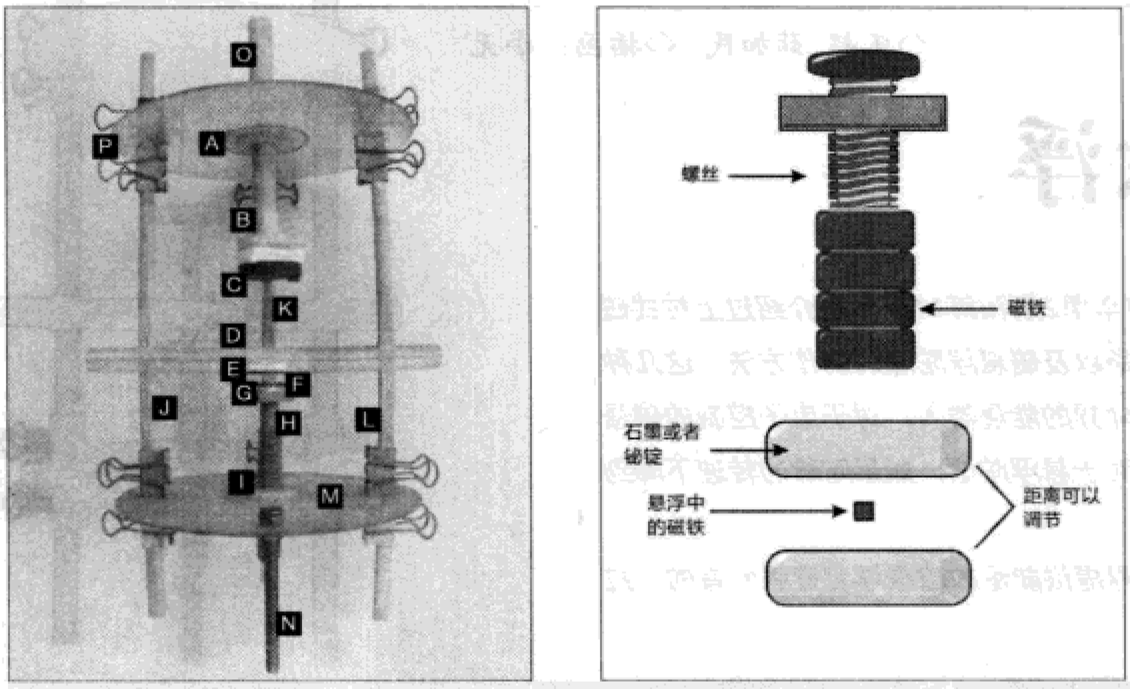


图2 抗磁性悬浮装置实物图及细节示意图

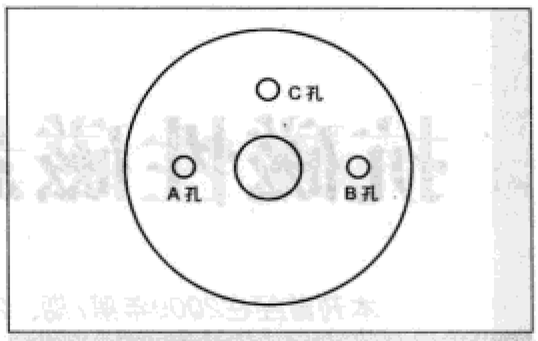


图3 光盘打孔示意图

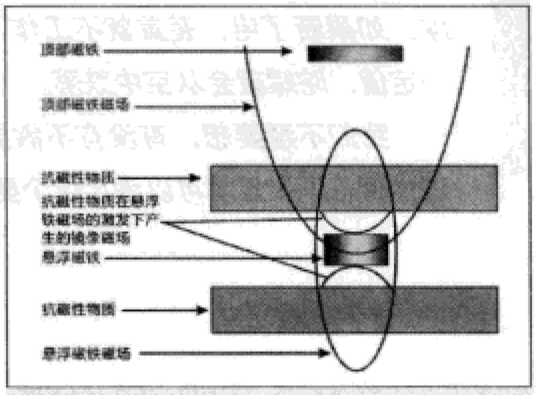


图4 磁场示意图

附表

A、I	塑料螺母（马桶上常使用）
C	用来吸引悬浮磁铁的铁氧体磁铁，饼状，直径2.5cm，高0.5cm
D	用于固定石墨片的空心塑料杆，可以选用较粗的吸管
E、G	石墨片（抗磁性），饼状，直径1.8cm，高0.1cm
F	悬浮磁铁（钕铁硼），饼状，直径0.5cm，高0.2cm
B、H	塑料螺丝，与A、I配套，马桶上常见
J、K、L	筷子
O、M	光盘
N	非铁磁性螺丝，用于支撑骨架
P	夹子，固定光盘与筷子

光盘的A、B、C三个孔，并用胶或夹子固定。接下来用筷子J和L穿过塑料杆D，然后安装另一张光盘。骨架制作好后，按照图2中所示安装其他的零件。

需要注意的是，两块磁铁正对的磁极应该相反，这样悬浮磁铁才能被吸引起来，磁场示意图见图4。

调试

通过调节螺丝B，可以改变悬浮磁铁受到的引力大小，通过调节螺丝H，可以改变悬浮磁铁受到的斥力大小。

首先调节螺丝H，使石墨片E的下表面与石墨片G的上表面之间的距离约为0.6cm。然后调节螺丝B，如果螺丝B调得太低，悬浮磁铁会碰到石墨片E，反之碰到石墨片G。经过适当调整，悬浮磁铁就可以悬浮了！

这时你会发现，如果有扰动，使悬浮磁铁向上偏移，它会被上面的石墨片推下来，如果悬浮磁铁向下偏移，它会被下面的磁铁推上去，稳定地悬浮在两片石墨之间的某一位置。

在此应注意，石墨片的纯度对悬浮的成败影响重大。我的石墨片是水泵上使用的石墨润滑片，一片只要8毛钱，而且悬浮的效果很不错。我也曾经使用过石墨电极制作上述悬浮装置，但是没有成功，我认为可能是石墨电极为了增加电导率或者增强别的性能而掺入了一些别的物质，所以致使石墨电极对外不体现抗磁性。悬浮磁铁最好选用体积小而且强度高的钕铁硼磁铁，这样的悬浮效果比较好。

另外，大家不必非要按照我的设计进行制作，石墨片和磁铁的规格也没那么严格，可以按照实际的情况进行调整。

使用铋制作磁悬浮

如果找不到合适的石墨片，选用铋也可以制作。在网上搜索“铋粒 分析纯”会找到很多的卖家，我个人认为用铋制作磁悬浮成功率更高。因为在选购石墨时，生产石墨的厂家往往不能给出确切的纯度，恰恰是这个纯度影响了悬浮的成败，而铋粒的纯度是有保证的。

取适量铋粒，并将其放入不锈钢大汤勺中，在汤勺的手柄上缠上毛巾，以防烫手，然后将汤勺放在燃气灶上加热，由于铋的熔点低，大约只有271.3℃，固态的铋粒很快就开始熔化了。接下来把熔化的铋注入模子（可选用易拉罐的底部），等

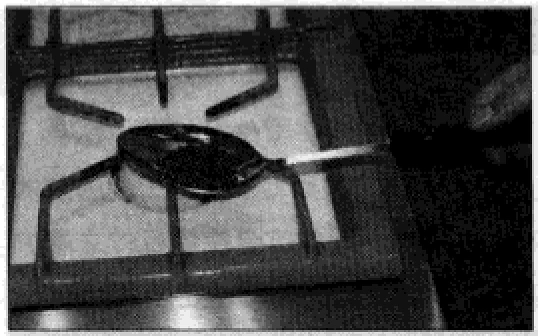


图5 对铋粒进行加热

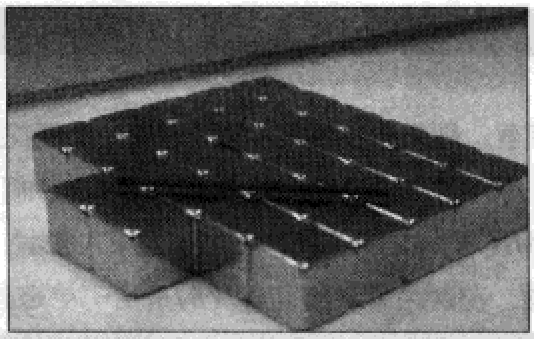


图9 铅笔芯的悬浮

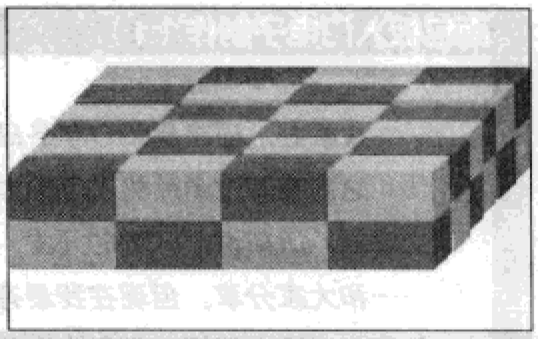


图10 磁铁阵列的排布

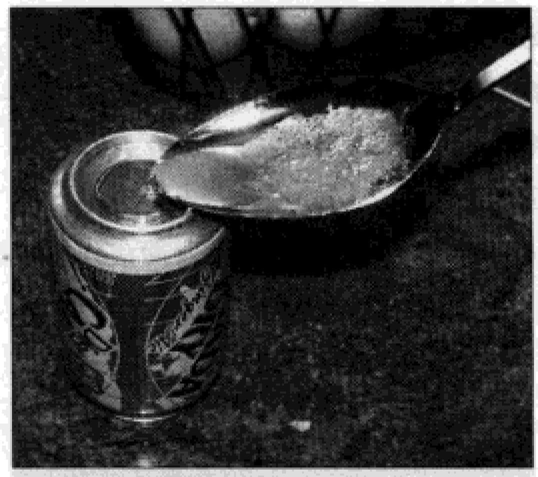


图6 将熔化后的铋倒入模子

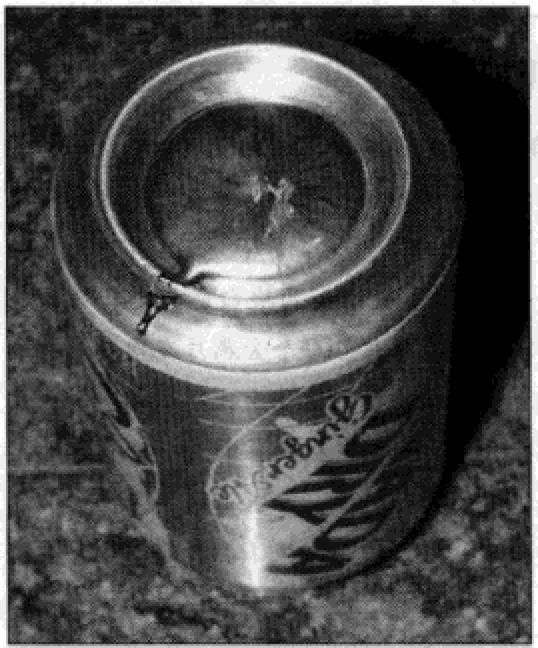


图7 冷却后的铋锭

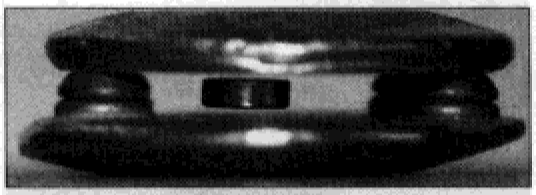


图8 国外爱好者用铋制作的磁悬浮

铋冷却后就得到了我们需要的铋锭。由于铋锭的表面可能很粗糙，此时只需用锉刀打磨平滑即可。制作过程见图5～图7。

同理制作第二块铋锭。对于每块铋锭，只要对着悬浮磁铁的那一面平整即可，另一面无所谓。

将制作好的铋锭替换原先的石墨片，经过适当调整，咱们的抗磁性悬浮就大功告成了。

使用铅笔芯制作磁悬浮

铅笔芯的主要成分是石墨，所以铅笔芯也具有抗磁性，利用这一点我们也可以将它们悬浮在空中。

这种悬浮方式恐怕是《无线电》杂志所有介绍过的磁悬浮中最简单的一种了。买一些方形的钕铁硼磁铁（边长大约0.5cm），找一根直径0.5mm的铅笔芯就可以实现啦！

但是如果你亲手尝试的话，第一次很有可能不成功。也许铅笔芯不但浮不起来，反而被吸在磁铁表面，或者情况好一点，不会被吸住，但是也不会飘起来。正所谓“纸上得来终觉浅，绝知此事要躬行”，看起来不费吹灰之力，其实也暗藏玄机。

如果你遇到了第一种困难，铅笔芯被吸附在磁铁表面，这是因为铅笔芯参杂了粘土之类含有铁颗粒的成分。这些颗粒被磁铁牢牢吸引，引力远远大于石墨所感受到的斥力，所以就会被磁铁吸附了。解决办法是，买另外一种铅笔芯。国内的磁悬浮爱好者们尝试了很多种铅笔芯，一般认为国产铅笔芯都不能悬浮。有一种日本产的派通铅笔芯，悬浮效果非常好，图9中使用的就是这种。

如果你买了这种铅笔芯，可能还是会碰到第二种困难，它不会被吸附，但是也不会被悬浮。这个问题的解决办法是，调整磁铁阵列的排布。每块磁铁都有南北极，所以每块磁铁有6种摆放方向。如果你的磁铁阵列有64块磁铁，原则上这个阵列有6^{64}种排列方式。当然绝大多数的排列方式都不可行，因为磁铁之间有斥力。剩下可行的排列方式中，又只有一种方式（也可以说是两种）能够悬浮铅笔芯，那就是相邻磁铁之间南北极交错，如图10所示。

解决了这两大困难，我们的铅笔磁悬浮就大功告成了！

结语

抗磁性磁悬浮的魅力之处就在于，它可以使物体完全飘在空中，而不需要电源或者其他的能量来源，基本不受外界的影响。如果把这样一个装置放在办公桌上，相信一定会吸引很多人的目光，即使只有自己观赏，也是一件乐事。

更多关于抗磁性磁悬浮以及《无线电》杂志曾经介绍过的各种磁悬浮的原理，请参考本刊中的《人人都懂磁悬浮》一文。

面包板入门电子制作（1）

◇杜洋

大家好，现在是2011年冬日的夜里。别人都在呼呼大睡的时候，我还在撰写“面包板入门电子制作”的第1期。

之前我写过单片机入门的文章，得到了许多爱好者的好评。有朋友会想了，接下来我是不是要写一些更高级的技术文章呢？比如说，PCB的开发，ARM技术，或者是单片机编程的深入教学。其实这些内容，我肯定会在今后的文章中一一和大家分享。但现在我最有兴趣、也认为需要迫切解决的是电子电路的基础学习问题，因为基础决定上层建筑，如果基础没有打好，更高的技术也会摇摇欲坠的。如果你是一位单片机爱好者，你可能会有这样的困惑——你可以按照别人的电路和程序来做一个小制作，却不能自己独立完成一个电子电路的设计和制作。如果你是这样的话，就说明你对电子电路基础的知识还没有足够把握。本系列文章正是针对这一问题，希望给这样的单片机爱好者们补几堂基础课。这种基础教学同时还适合中小学生的电子制作启蒙入门引导，因为在教学和制作的过程当中，你只需要拥有这样一个元件盒，所有的制作都可以在里面完成了。制作全过程不需要焊接，也不需要其他任何辅助工具，因此更安全、门槛更低，适合8到15岁的小爱好者们（当我圈定了这个系列文章的读者年龄范围没多久，就有一位家长写信给我，说他7岁的儿子看了我的教学内容也可以学会电子制作了，这真是让我欣慰呀，人类越来越聪明了）。

让我们用面包板来开始我们电子制作的第一步吧，在简单的基础电路中体味电子制作的美妙乐趣，也让面包板帮助我们养成电子爱好者所应该具有的思维方式和创新精神吧。

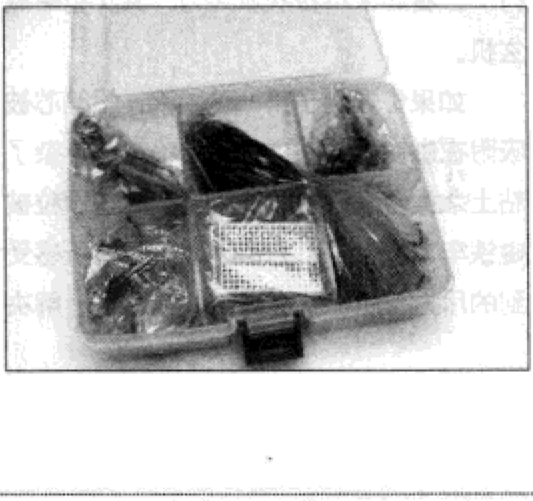
打开元件盒

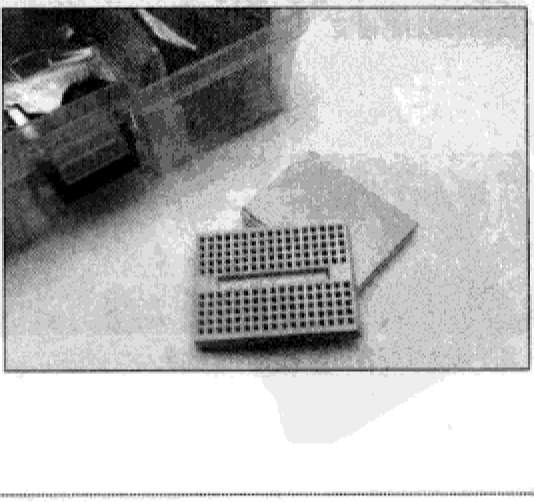
我手边有一个声控LED的小电路。当我说话的时候，LED灯就会随着我说话的声音闪烁。这是一个有趣的制作，也是我要为大家介绍的入门实用小电路中的一个。只要你跟着我来学习、来制作，你不仅可以很轻松地完成同样的制作，还可以独立完成更多更有趣的小制作。为了这个系列，我准备了一个“万能”的元件盒，我们的电子制作就从这个盒子开始。这个元件盒中到底有些什么样的东西？它们都是干什么用的？它们有着什么样的奥秘？它们到底能给我们带来多大的喜悦呢？好，我们现在就来打开元件盒。

元件盒与面包板

我选择了一种透明的六宫格元件盒。6个格子里分门别类地装着电子制作入门必备的元器件，每一种元器件都由一个自封袋（可以重复封口的塑料袋）包装着，既起到了防潮、防短路的功能，又方便了收纳和分类。

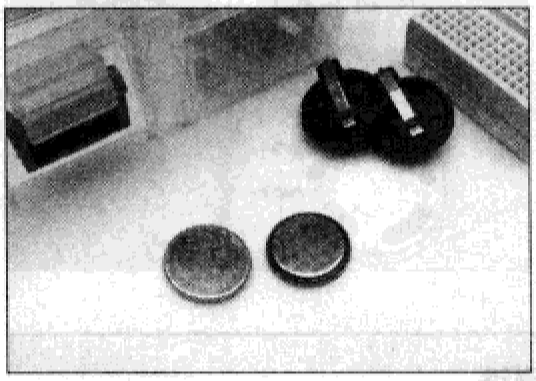
我们先来了解的就是本套套件的主角——面包板。我们有两块白色、小巧的面包板，它的正面有许多的小孔洞，这些孔的里面有一些金属片，每个金属片在内部是按一定顺序连接在一起的。我们实验、制作用到的元器件就要插到这些小孔洞上面。一会儿我们会来做一个实验，测试一下孔洞内部的连接关系。在面包板的背面是一个黄色的不干胶贴纸，如果把黄色贴纸揭下来，面包板就可以贴在塑料板、木板上面。当多个面包板都贴在一个塑料板上时，就形成了一个更多孔洞、更大的面包板了。我们以后大量的制作都会基于面包板来完成。





电池与电池盒

接下来是电池和电池盒。我们所采用的是CR2032纽扣电池和与之配套的电池盒（也叫电池座）。之所以使用纽扣电池，是因为它的输出电流比较小，更安全，而且它的电压是3V的。我们有2粒，也就是6V的电压，6V的电源已经足够应付绝大部分电子电路的制作，也可以完成单片机电路的开发。纽扣电池就是这么薄薄的一片，如果把它插到普通电池盒里就不太容易拿出来了，因此，我使用了一种质量较好的电池盒，这种电池盒可以让电池连接更牢固，更适合在面包板上使用。在我们开始实验之前，请保持冷静，先不要把电池插到电池盒里，因为我还想单独使用电池来测试后面要介绍的元器件呢。

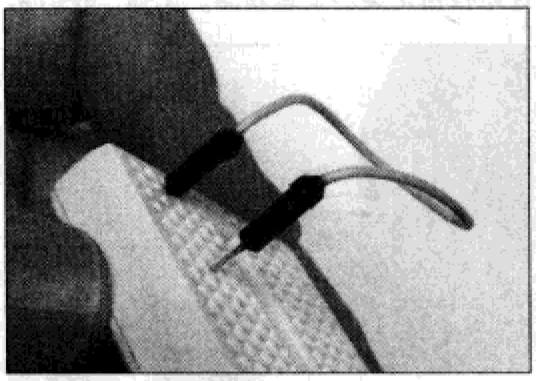


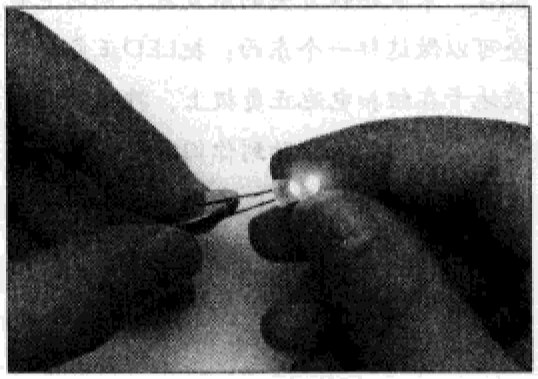
插接面包板专用线

接下来我们看看这个——面包板专用线。面包板专用线的功能就是将电路中连接导线的部分通过这些专用线连接在面包板上（其实就是导线而已，叫作专用线只是为了更酷）。专用线的两头是长度适合的金属针，正好可以插到面包板的孔洞里。以后我们将大量采用面包板专用线来完成制作。

让LED灯亮一亮

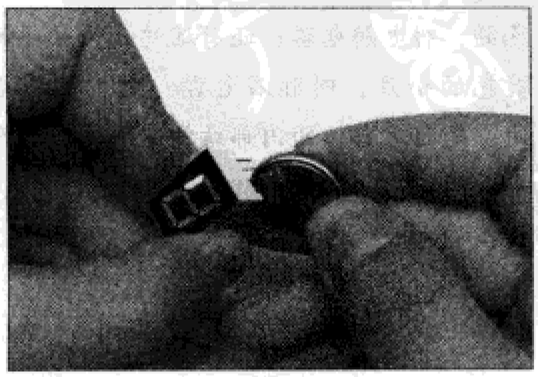
好了，面包板、电池、电池盒、面包板专用线，这四样东西构成这个入门套件最核心的部分，接下来，让我们看看LED。小袋子里五彩斑斓的东西就是LED灯，它是可以发光的，也叫发光二极管，有白光的、蓝光的、绿光的、红光的、黄光的。但是蓝光和白光的外壳是呈现透明的，只有红光、绿光、黄光的LED外壳与之发光的颜色相同，我们可以通过电池来进行实验。取出一个黄色的LED灯，把LED灯较长的引脚放在电池的正极上。电池的正极呢，就是面积较大的那一面，上面写着电池的型号、电压和一个大大的“+”号；面积较小的、没有文字的一面就是电池的负极。我们把LED灯夹在电池上面，这时LED灯就会被点亮了。这就是一个LED灯点亮测试的方法。你可以现在就拿出所有的LED灯，来测试一下它们是否都可以亮，它们的点亮效果如何。





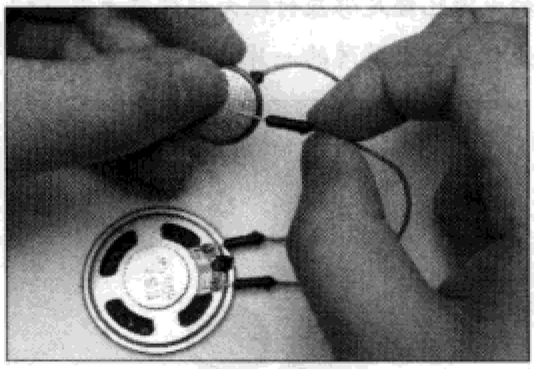
让数码管亮一亮

接下来我们看一下数码管和芯片。数码管是一个用来显示数字的显示屏，数码管是按一定规则排列的条形LED灯，我们也可以用电池来点亮它。把电池的侧面放到数码管引脚上，使电池的正负极可以同时接触到其中的2个引脚。逐一测试你会发现，当电池放在某两个相邻的引脚上时，就会有一段LED点亮。它可以点亮，就说明我们可以来控制它上面的“段”，不同的“段”之间的组合，就可以显示0到9这10个数字，还可以显示一些英文字母。有一些时钟上面，或是电梯的楼层显示，都是使用了这种数码管的。接下来就是芯片，芯片又叫集成电路，在今后的文章当中，我们会经常介绍这些芯片，包括CD4069、CD4011、CD4017、CD4026，这些“门电路”或是专用的功能芯片，在后面的制作当中扮演着关键的角色。另外还有一些小的芯片，有2片NE555和1片LM386。LM386可以制作音频的放大电路，NE555可制作与时间相关的电路，比如LED闪烁、延时电路。可能大家现在还听不太明白，没关系，我们后面会详细介绍它们。



让扬声器响一响

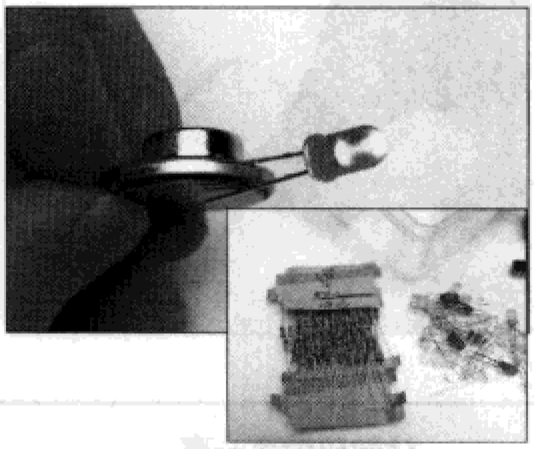
盒子里，我还为大家准备了扬声器，也就是我们俗称的喇叭。其实它和我们平时用的耳机是一样的，只是这款扬声器的体积更大一些。扬声器上面有2条引线，可以直接插在面包板上来进行实验。我们用电池试一下，看它能不能响。当我们把2条引线分别连在电池正负极上时，扬声器里发出了“啪啪”的声音，当导线在电池上滑动时会发出“哗哗”的声音，对吧？这个扬声器在后面的制作当中与LM386组合，可制作音频功放器。



试试电阻与磁铁

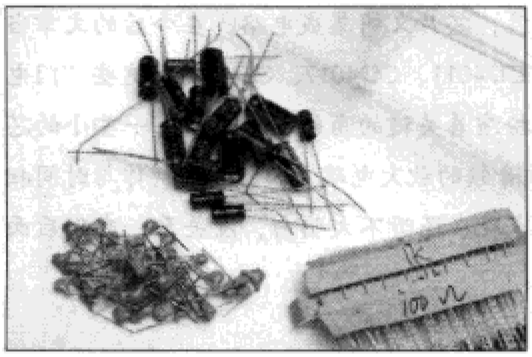
接下来我们再看看这个——电阻包，里面有各种阻值的电阻。阻值从100Ω到1MΩ，一共11种，每种10支。电阻的功能是阻止电流通过的，那么有朋友会想了，为什么要阻止电流通过呢？让它全通过不是更好吗？在我刚刚入门电子制作的时候，这是我最大的一个问题。当然我比较笨，直到半年后，我才真正明白是怎么回事儿。但是你不需要等这么长时间，因为很快我会讲到电阻的工作原理和它在电路中的重大意义。

盒子里还有一个小的磁铁，圆形的，它能吸在电池上。这个磁铁的作用是和干簧管配合，来做磁性开关的触发源，同时它也能通过磁性固定某些金属物品。比如，我们完全可以做这样一个东西：把LED正负极对应地卡在纽扣电池正负极上，将磁铁吸在电池上，然后把它贴到你们家里的冰箱或者是微波炉的外壳上，作为一个照明或者是一个装饰都可以，非常简单，而且实用。这就是最简单的一个电路了。



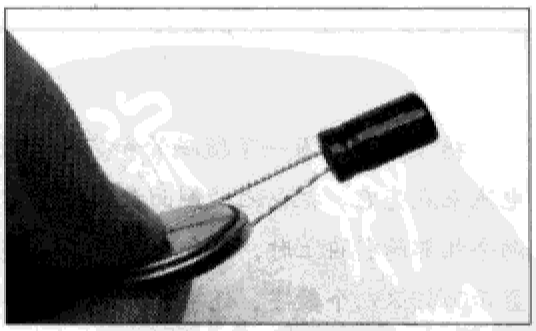
看看电解电容与独石电容

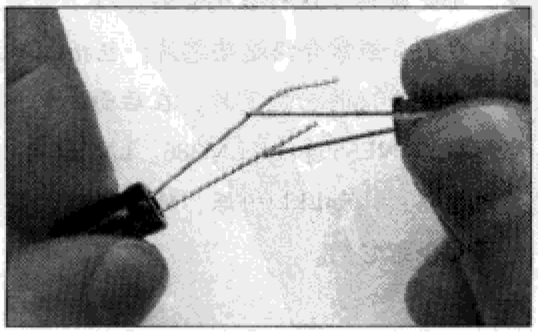
盒子右上角的格子里放的全是电容。所谓电容，就是容纳电荷的一个东西，对吧？所以叫它电容嘛。你看，它有大大小小各种各样的型号，稍微大一点的，圆柱形的，黑色的，叫电解电容；还有这边，比较小的，黄色的小片，叫独石电容。它们的取名不同，是因为它们的内部结构不一样。这个大一点的，它的容电量就更大；小一点的，它的容电量就更小。



让电容充放电

我们都知道，照相机上面都会有一个闪光灯，这个闪光灯其实就是通过电容放电来闪光的。我们可以做一个小实验，拿出一个型号是16V/220μF的电解电容，它分正负极，长脚为正极，短脚为负极。这个实验需要3个器件：电池、电容和LED。我们先把LED正负极对应地卡在纽扣电池正负极上，看看它是否可以正常工作。是可以的，发红光，对吧？好，我们再把220μF的电容正负极对应地卡在纽扣电池正负极上。它没有亮？！当然，它不会亮，它是电容。哈哈！这样保持一会，不用太久时间，只要几秒钟就可以了。我们把它取下来，然后把电容的正负极和LED的正负极连接，看看LED会怎样。哎，看到了没有？LED闪烁了一下。这个就是电容的容电能力，它的内部容纳了一部分电量。当我们把用电设备，也就是LED，连接到电容的时候，电容内部存储的电能就释放出来了，电容相当于一个蓄电池。这就是闪光灯的原理，只闪一下就熄灭了。你可以和我一样用这个220μF的电容做一下闪光灯的小实验。同时你可以试一下其他电容，10μF的、47μF的、4.7μF的，还有其他一些小的电容。这些小黄片片，独石电容，看看它们可不可以存电。是不能存呢？还是存电量较小呢？





核心组件和蜂鸣器测试

接下来，我们看一下盒子里的最后一格。里面是非常重要的传感器和一些核心元器件，它们有很多种，我一一说明一下。首先我们看到的是这个组合，蜂鸣器、电位器、话筒、干簧管、二极管和光敏电阻。电位器其实就是可以调节的电阻。电阻就是阻碍电流的，电位器呢就是可以用来调节它对电流阻碍的大小的电阻，一边变化一边阻碍。我们可以通过它上面的旋钮来调节，它上面有个箭头可以指示阻值大小。我们在后续的面包板上做电位器实验时会发现，它有3个脚，不太好操作，我们不能直接用于来做检测实验了，这里先把它放一边，以后再说吧。

接下来说说蜂鸣器。蜂鸣器上有两个脚，一长一短，它是一个发声器件，它能发出“嘀~~~”的声音来，比如说我们家里的闹表，有的就是用它来发出声音的。它上面的薄膜是一个保护膜，可以揭下来，让它发的声音更大。我们可以用电池来做个试验，电池正极和蜂鸣器长脚连接，负极和短脚连接。“嘀~~~嘀~嘀~嘀~”听见没有？这个就是蜂鸣器发出的声音。如果你不希望声音太大，就把薄膜贴上，然后再试，声音就很小了，“叽~叽~叽~”是吧？好像被打劫了一样，呵呵。你可以通过这张薄膜来调节蜂鸣器的音量，这也是一个小技巧。我们以后会用蜂鸣器来制作一个报警器或者完成一个闹钟的提醒功能。

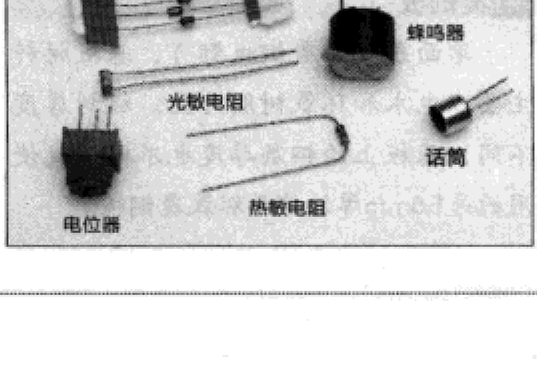
话筒就是和我们电脑上的耳麦或者是电话机里的话筒类似，它们的原理是一样的，它可以用来收音。上面有两个脚，我们可以用它来做一个声控电路，或者是拍手开灯的电路，或者是随声音闪烁的LED电路，这些后面都会重点介绍。

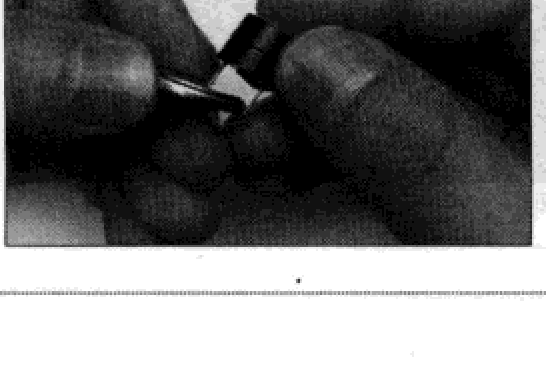
10支型号为1N4148的二极管，和LED一样，是单向导电的，电流只能朝一个方向通过。我们可以通过这个特性，在电路当中设计一些巧妙的电路，使电流单向流动，产生一些特殊的实验效果。这也是我们今后要介绍的重点。

和二极管长相差不多的是一个温度电阻，也叫热敏电阻。温度电阻上没有文字，二极管上有1N4148字样，它的阻值可以随着温度而变化。我们之前说过的电位器，是通过旋转旋钮来调节电阻值的，而这个是通过温度的变化来调节电阻值的。通常来讲，当温度高的时候电阻值变小，通过的电流变大；温度低的时候电阻值变大，通过的电流变小。后面我会用它来制作一些温度控制的电路，或采集并显示出温度来。

我们来看看这个，一个绿色的小玻璃管，上面有两根金黄色的引脚，很漂亮。它就是我之前说过的干簧管，通过磁铁和干簧管之间的接触，可以通断干簧管内部的两根引脚。磁铁靠近干簧管时，两个引脚导通；磁铁远离时，两个引脚断开。其实它内部是两个很小的弹片，大家可以仔细看一下。但是要注意玻璃管易碎，弯折引脚时要小心，轻拿轻放，不要用力过猛。

好，我们来看一看最后一件。它有很长的引脚，主体上有类似两只手交叉的图形，叫光敏电阻。它的电阻值会随着光线强弱而改变，光线强时电阻值变小，光线弱时电阻值变大。





微动开关

微动开关其实就是小开关。我们可以通过按下按钮来接通电路，从而实现手动控制通断。按下开关时两个引脚导通，松开时两个引脚断开。我们可以用它来控制一个LED灯，对吧？按下时LED亮起，松开后LED熄灭，很简单的。后面会用它做一些操控类的电路设计。另外，还有4种三极管，型号分别是：8050、8550、9012、9013，每种5个。三极管有3个引脚，具有放大和开关的作用，也就是说它可以把通过话筒采集的声音放大，变成可以用扬声器来播放的声音。同时它还有开关功能，我们后面的电路会介绍这两个功能。这4种型号使用效果也是不一样的，后面我会一一作解释。

大家可以发现，我们的这些可以感应的器件，有感光的，感磁的，感温的，手按的，手旋的，各种各样的传感器，它们都是通过电阻值变化或引脚通断参与到电路的工作当中。让电路感知我们人的操作或者周围环境的变化，这都是我们后面着重介绍的内容。

也许有朋友会想，就用这些元器件来学电子制作会不会太少。其实器件的多少并不重要，重要的是我们可以在此基础上的发挥和创新。请大家抱着这份对电子制作的无限热爱，来阅读后面的文章吧。

《面包板入门电子制作》盒装套件
148元/套+15元（邮费）

包括一盒元器件、教学文章和不断更新的高清教学视频文件。助你轻松入门电子技术基础，并可独立设计电路。

详细邮购方法见本刊淘宝店 boqu.taobao.com。

用感光油墨法制作PCB

◇梁文志

自制电路板以它独特的魅力吸引着无数电子爱好者，甚至一些专业的设计人员也常自制电路板。自制电路板的主要目的是对设计电路进行实际测试，而非简单的计算和仿真。我认为作为一名电子爱好者，自制电路板是从一个层次向另一个层次的提升，甚至是向前发展的必经之路。

目前常用的业余制作电路板的方法有笔画制板、贴胶布制板、热转印制板、雕刻机制板、感光干膜制板、感光板制板、感光油墨制板等。热转印的方法有不少爱好者都分享了使用的心得，本文中，笔者根据使用体验，为大家推荐并介绍的是感光油墨制板法。

感光油墨制板法的基本流程是：Protel软件绘制PCB文件→反白处理→打印输出到菲林纸上→对覆铜板进行丝印处理→利用透明的板材协助曝光→在覆铜板上显像→脱油墨→清洗→打孔→完成。

反白处理就是将电路板黑色的地方变为透明，透明部分变成黑色。反白后电路的走线和焊盘变成了透明的，过孔变成了黑色的。反白与之后使用的化学试剂感光油墨有关。感光油墨是负性的（负性感光油墨受光后与显像剂反应会固化），需要留下的线条要见光，不需要留下的要避光。

对覆铜板进行丝印处理是要将感光油墨均匀地丝印到覆铜板上，此时要注意暗光、防风、防尘。要特别注意的是，从油墨附着在覆铜板上的那一刻起，一直到腐蚀之前，我们绝对不能触摸有油墨的那一面，否则制作有可能失败，或造成工艺水平下降。

曝光步骤需要透明板材的协助。透明是为了让光照射到，玻璃板或亚克力板都可以，我使用的是亚克力板。在桌子上放置亚克力板，再放置上好油墨的覆铜板。在覆铜板上放置上好油墨的菲林底片，在菲林底片上再放置亚克力板，用小夹子将它们夹紧，然后进行曝光。有线路的地方受到了光的照射，没有线路的地方则被菲林底片的黑色油墨覆盖，不受光的照射，待一段时间后打开夹子，取出覆铜板进行下一步——显像。

显像就是让油墨线路留下，让空白处露出铜层。显像需要使用显像剂。由于线路受光的照射，油墨再与显像剂反应固化，而没有被光照射的地方遇到显像剂后会退去。这时就是由油墨线条构成的电路走线涂层了。此时使用腐蚀剂就能把所有露出的铜层部分腐蚀掉，剩下我们需要的铜层走线了。此时的电路板就不再那么娇气了，手可以触摸铜层表面。由于此时铜层上还附着了一层油墨，就需要进行脱油墨。

脱油墨需使用脱膜剂，待脱膜剂浸泡电路板数秒钟后，进行清洗、打孔，就完成了最基本的电路板了。

制作所需工具

我们先来看看所需要的材料及工具。

1 装有设计PCB软件的电脑

常用的电路设计软件有Protel 99 SE，Protel DXP和Altium Designer。3种软件的使用方法大同小异，DXP和AD风格相近，我使用的是Protel DXP。图1所示是我这次要制作的PCB图，这是DXP软件自带的一个PCB文件，我以它来示范，大家可以看看其精度能达到何种程度。此PCB使用了双面走线设计，在这里我只制作底层。

图1 Protel DXP软件自带的一个PCB实例文件

2 喷墨打印机

建议使用Epson R270或更高级别的打印机，墨水使用普通墨水即可。

3 菲林纸

菲林纸类似透明塑料纸，沾水后会变粘的那一面为正面。

4 覆铜板

单面或双面覆铜板都可，基板材料主要以电木和环氧树脂为主。板材厚度不同，基板上的铜层厚度也不同，我使用的是1.6mm厚的单面环氧覆铜板。

5 感光油墨

感光油墨是用来构成电路线条覆盖图层的主体。一般密封在黑色的塑料瓶里，且浓度较大，往往配合油墨稀释液进行使用，是否需要加入稀释液，要根据实际浓度来定。浓度控制在蜂蜜那样的状态比较合适。

6 显像剂

显像剂或叫显影剂，白色粉状固体，对受到紫外光照射的感光油墨敏感。

7 脱膜剂

白色片状固体，能够对固化的感光油墨进行分解。对腐蚀后的电路板进行脱膜处理，以达到露出铜层的目的。

8 腐蚀剂

环保腐蚀剂，使用过程中无异味产生，液体不浑浊，能够清楚地观察腐蚀情况，相比三氯化铁有着不小的优势，在这里担任对电路板进行腐蚀的任务。

9 镀锡液

镀锡液，对电路板铜层进行镀锡处理，增加可焊性，并可增加电路图层截面积。

以上化学试剂在使用时应格外注意，尽量不要与皮肤接触。

10 亚克力板

我使用了两张5mm厚的透明亚克力板，相比玻璃板，它的重量更轻，不至于划伤。更主要的是，亚克力是目前非常优良的高分子透明材料，透光率达到92%，比玻璃板的透光度都更高，普通玻璃只能透过0.6%的紫外线，而亚克力可透过73%的紫外线。

11 腐蚀机

腐蚀机（图2）的主要功能是在完成电路板显影后进行腐蚀，使用腐蚀机实际是为了增加腐蚀速度。现实生活中，可以使用塑料盆配合腐蚀剂，就构成了腐蚀机。若想加快腐蚀速度，就要增加腐蚀液的温度并提高腐蚀液的流动性。我使用的这台腐蚀机配有300W加热棒，并可以使温度恒定且控制到45~60℃，这个温度正适合电路板腐蚀，而且使用加热棒后速度有明显提升。此外，腐蚀机还配有气泵，类似鱼缸里的供氧装置，既能让液体均匀升温，又能增强液体流动性。我采用的腐蚀机为长方体形状，使用时将电路板吊起来使用。我曾使用过普通脸盆进行腐蚀，效果不尽如人意，而改变了方式后，腐蚀不再那么漫长，通常在10min内就可完成。

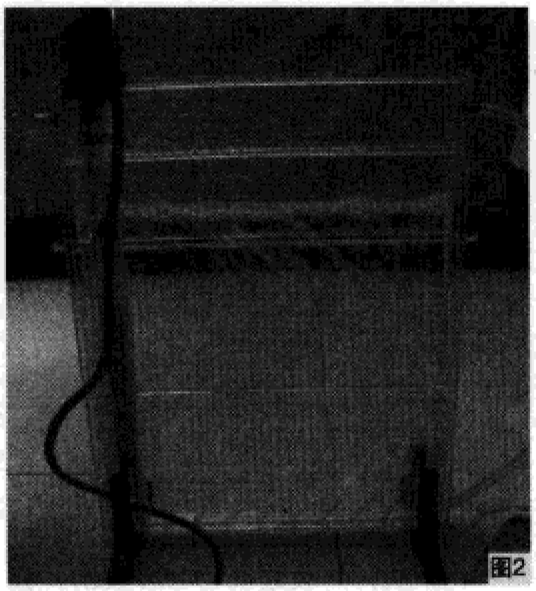


图2

12 电钻

电钻用来给腐蚀完成后的电路板进行钻孔，图3所示是我使用的PT-1441F可充电电钻。

图3

13 丝印网板

丝印网板（图4）用于配合丝印刮板对覆铜板进行加工。

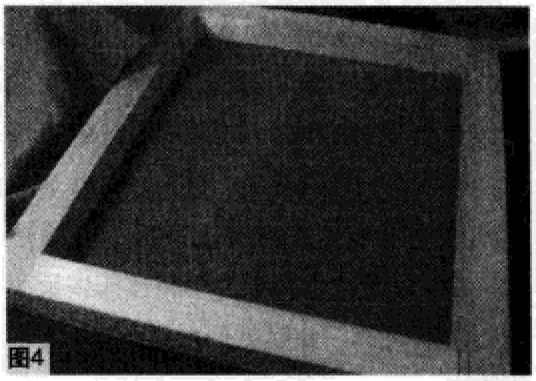


图4

14 丝印刮板

丝印刮板（图5）用于配合丝印网板对覆铜板进行加工。

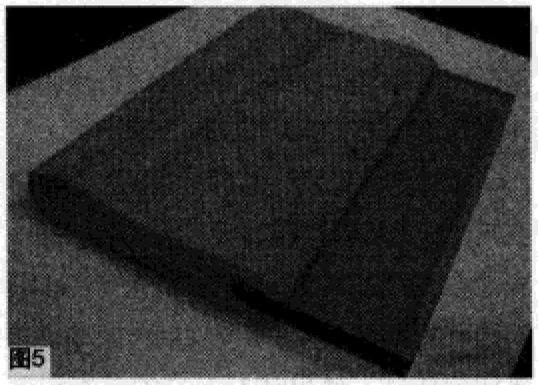


图5

15 紫外灯管

紫外灯管（图6）用于对电路板进行曝光。使用时要注意安全，不能频繁进行开关操作。紫外灯管光源集中，且紫外线肉眼看不到，看到的蓝紫色光为波长近似紫外光的可见光，并非真的紫外光。由于光源较强，眼睛最好不要直视灯管，以免造成损伤。尤其长期使用的朋友，可以带上墨镜进行工作，或打开曝光灯后迅速离开，以免对身体造成慢性伤害。

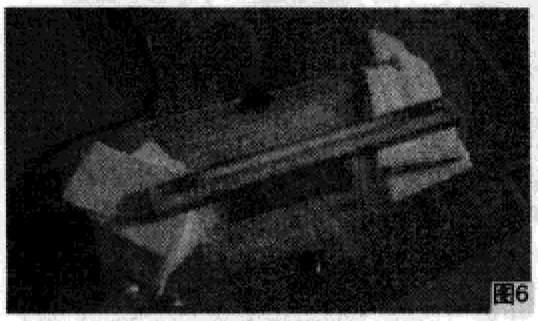


图6

制作过程详解

1 给覆铜板附油（丝印操作）

覆铜板要保证铜表面干燥、清洁，若表面出现氧化或不光泽，可使用1000～2000号的砂纸进行打磨，待一切就绪后到光线较暗的房间里进行附油操作，这项操作应该在室内进行，工作环境的光线越暗越好。将丝印网板的两边垫高，在中间放上覆铜板，再将丝印模板放在上面(见图7)。此时就形成了如图8所示的结构。

先在丝印网板上放适当多的感光油墨，如图9所示，使用丝印刮板从一头匀速滑向另一头。完成后，把丝印完成的覆铜板放入不透光的盒子中，如图10所示。由于1月份的温度较低，自然干燥约两个小时即可。我往往是傍晚进行丝印操作，到第二天上午使用正好合适。

不管你丝印1张板还是10张板，都需要用丝印网板和丝印刮板，所以最好是一次性多丝印几张板子，把它们保存在黑暗不透风的环境里，为下一次制作做准备。丝印完成后，使用50℃左右的温水和适量脱模剂进行混合，把网板和刮板上的油墨擦洗干净，以备下次使用。

2 制作菲林底片

让我们打开软件对PCB进行一番设置，先以单层板为例。我们在设置时需要注意以下几点：

◆ PCB文件要单层输出。

◆ PCB文件进行反白处理。

◆ PCB文件要按原比例打印。

以上3点必须满足，它是制作成功的必要条件之一。可以按以下步骤对电路板进行设置：

（1）选择 Place → Fill → Mechacincl4 层，使用此图层对电路板进行填充。

（2）选择 File → Page Setup，如图 11 所示，将缩放比例（Scaling）的比例状态（Scale Mode）设置成 Scaled Print，

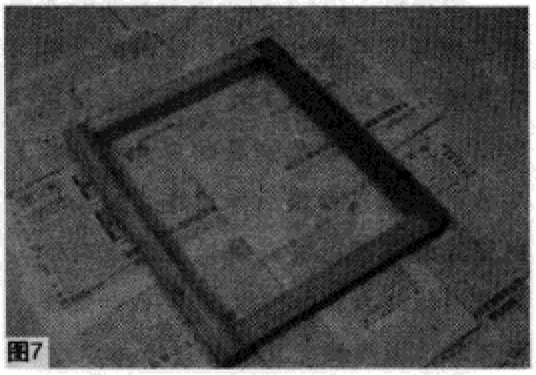


图7

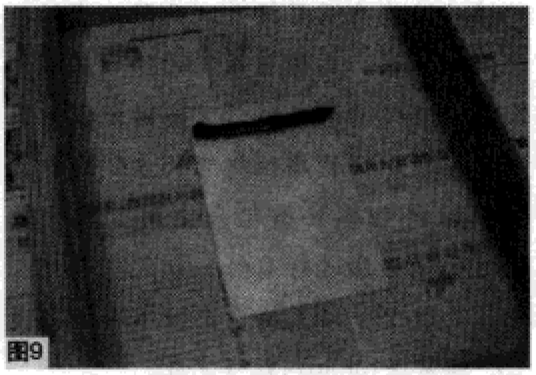


图9

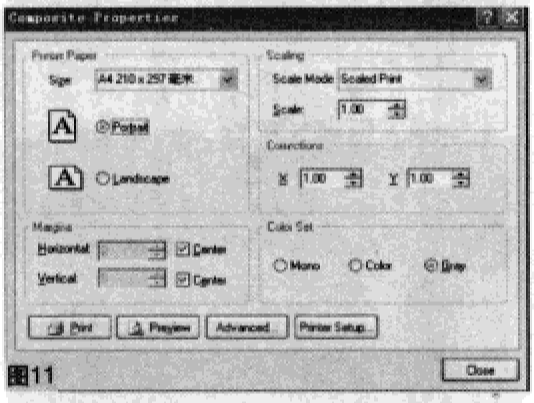


图11

Color Set 设置为灰度（Gray）。

（3）执行高级选项（Advanced），我们只需要底层，因此要把不需要的去掉，删除 Top Layer（顶层）、Keep-Out Layer、Top Overlay。只保留 Bootm Layer（底层）、Multi-Layer（多层）和 Mechanical4（机械4 层），如图 12 所示。

（4）以上 3 层按照 Multi-Layer、Bottom Layer、Mechanical4 的顺序，在 preferences（参数选择）中，点击左下角的参数按钮，弹出如图 13 所示的对话框。

（5）将 Bottom Layer 和 Mulit-Layer 设置为纯白色，Mechanical4 和 Pad Holse 设置为纯黑色，最后点击 OK 即可。另外，

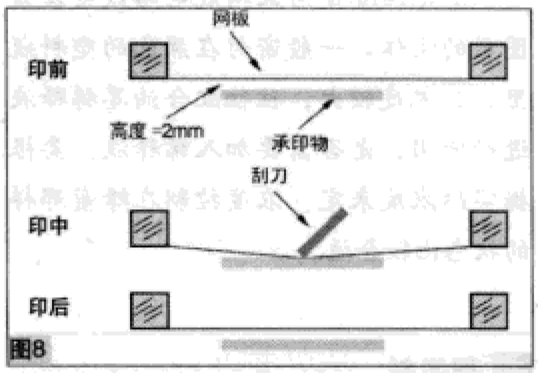


图8

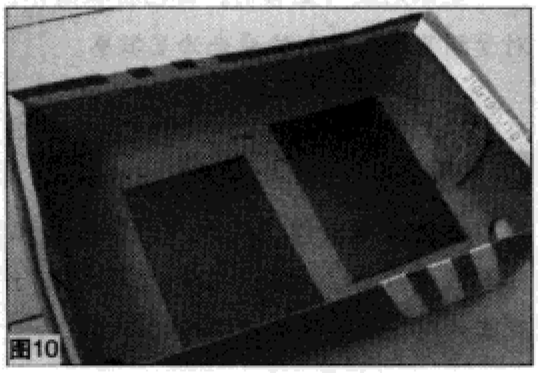


图10

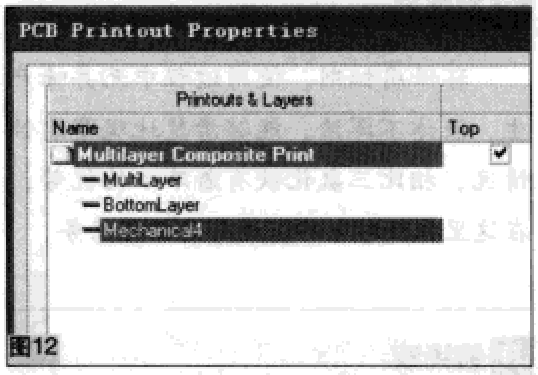


图12

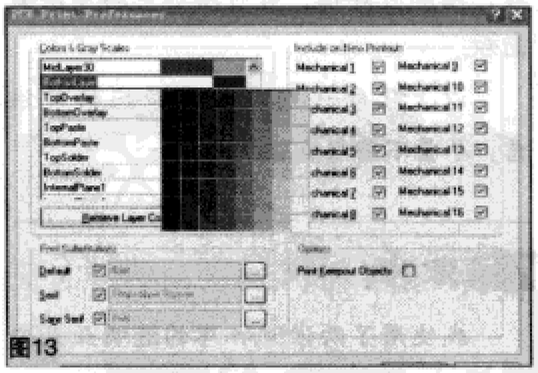


图13

在打印设置中，还需要将输出照片质量设置成优质照片，打印纸类型选择高质量光泽纸。

你的电脑若连接有打印机，那设置完成后可直接打印。若没有打印机，则需要

使用虚拟打印机，打印生成PDF格式后再进行真正的打印输出。

需要注意的是，菲林纸要在正面打印。打印后对着阳光进行检查，观察黑色线条的透光度，以能透过极少光为准。若不合格，可采用两张叠加的方式来增加底片的避光程度。然后，把菲林底片放好，尽量不要让打印面附着尘土，不要用手触摸打印面。至此，菲林底片做好了。

3 曝光操作

将亚克力板放在水平面上，放置并固定好干燥的上好油墨的覆铜板，在覆铜板上放置菲林胶片，再放置亚克力板，使用夹子夹好，如图14所示。

将紫外灯管架高，与亚克力板距离在10cm左右，即可开始通电曝光，如图15所示，建议曝光时间为3min。待曝光完成后，将板子取出来，手不要触摸板子上附有油墨的那一面。

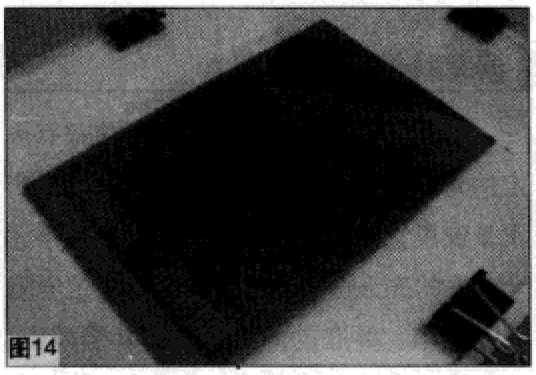


图14

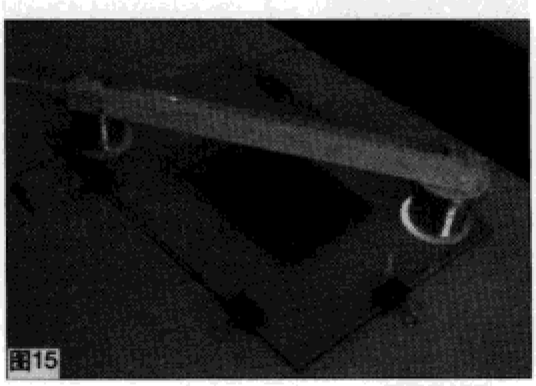


图15

4 显影操作

取一个盆子，倒入1升40℃左右的温水，倒入20g显像剂。待板子在显像剂中浸泡了10s后，使用毛刷轻轻刷抹油墨表面，线路就会慢慢显现出来，如图16所示，用适当清水清洗。

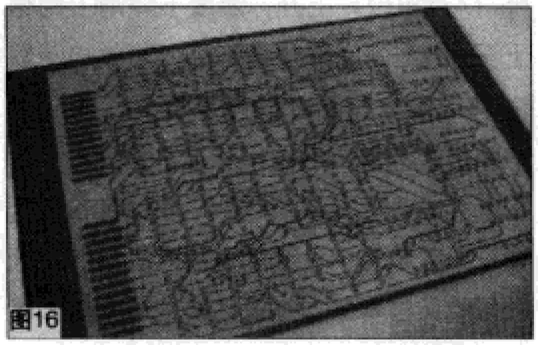


图16

5 腐蚀操作

这是决定性的一步。使用200g环保腐蚀剂兑1升60℃热水，使用腐蚀机进行操作，如图17所示。热水与流动的空气同时作用，使得腐蚀速度加快，整个腐蚀过程7min就完成了。腐蚀的时间可视腐蚀情况灵活掌握。腐蚀完成后也需要清洗板子。此时，PCB的雏形基本呈现了，见图18。

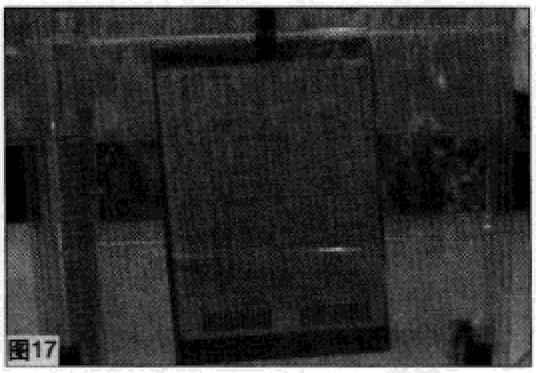


图17

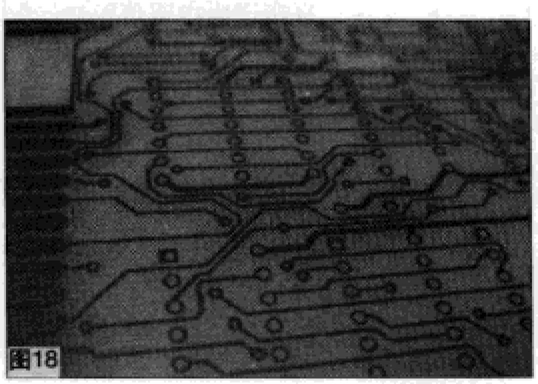


图18

6 脱膜操作

使用1升40℃左右的温水，倒入20g脱膜剂，将板子放入试剂中摇晃，数秒钟后感光膜就会脱落。

7 氧化处理

把松香溶液涂抹在电路板上能起到抗氧化和助焊的作用。还有一种不错的方法，就是使用镀锡液，在使用前需要使用砂纸将铜层表面打磨一遍，这样有助于锡在铜层上附着。在容器中倒入适量镀锡液，以没过电路板为准，电路板很快就会镀上一层薄薄的锡，既增加了走线的过电流能力，又能使板子的可焊性增强，如图19所示。

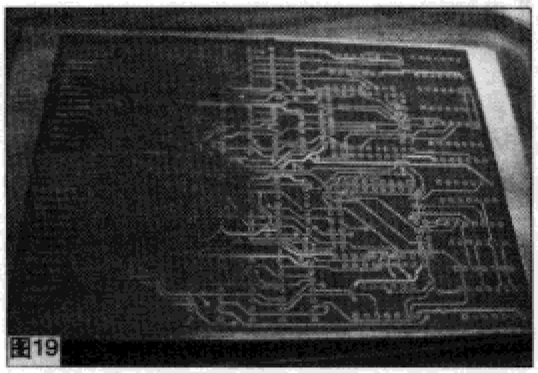


图19

8 钻孔

使用电钻垂直对板子进行打孔。我使用的电钻属低转速电钻，相比220V供电的大功率手电钻来说，手感要好些。当然，我们也可使用台钻进行钻孔。我使用的是直径0.8mm的钨钢钻头，这种钻头的钢材料中加入了钨，其硬度和耐热性有明显提升，但质脆，所以在使用这类钻头时，电钻用力要小心。

以上是一个采用感光油墨法制作单面PCB的详细过程。至于双面电路板制作，与单面电路板类似，不再详述。希望大家可以从本文的介绍中得到一些启发，比如将照片进行灰度打印，制作出由铜层构成的个性照片等。最后，轻声地告诉大家：不管行不行，起码试一试！

◇张爱迪

谈谈热敏电阻器的使用常识

热敏电阻器用途十分广泛，其主要的应用方面有：利用电阻—温度特性来测量温度、控制温度和用于电路中对某些元器件的温度补偿，利用非线性特性完成稳压、限幅、开关和过流保护作用，利用不同媒质中热耗散特性的差异，进行流量、流速、液面、热导和真空度等的测量，利用热惯性作为时间延迟器等。图1所示为其基本检测方法。

典型应用

图2（a）所示是PTC热敏电阻器控制电冰箱压缩机启动电流的典型应用电路。PTC热敏电阻器串接在电冰箱压缩机启动绕组回路中，每当电冰箱启动时，电源电压全部加在启动绕组上，此时PTC热敏电阻器可将约7A的电流在0.4s以内衰减到4A左右，然后再经过3min左右的时间使启动绕组电流降至约15mA，该过程中运行绕组已进入正常工作状态。这里PTC热敏电阻器的额定电压一般取250V以上，标称电阻值选择为20～40Ω，其稳态时功耗＜4W。图2（b）所示是PTC热敏电阻器在彩色电视机消磁电路中的典型应用。每当彩电开机通电时，消磁回路便产生一个很大的电流，同时产生一个很强的交变磁场。由于在消磁电路中串联了PTC热敏电阻器，这一很强的交变磁场在很短的时间内便衰减到极弱的程度。随着消磁回路电流由大变小，磁场由强变弱，从而自动将彩色显像管的阴极罩、防爆带等铁制件上的剩磁消除掉。

图3（a）所示是NTC热敏电阻器在电子温度计电路中的典型应用。这里RT作为温度传感器，用于检测温度。当温度升高时，RT阻值下降，其负载电阻R上的压降（A点电位）上升，温度下降则RT阻值上升，R上的压降随之下降。热敏电阻器RT将温度变化转换为电压变化，再经过电路放大和整流后由指示电路显示出来。图3（b）所示是NTC热敏电阻器在普通晶体三极管收音机低频功率放大级用作温度补偿的典型电路。在音频推挽功率放大器电路的下偏置电阻器R2上并联了一只NTC热敏电阻器。当环境温度升高会引起晶体三极管VT1、VT2集电极电流增加时，由于下偏置电阻（实质上是RT阻值）的减小，VT1、VT2基极电流也随之减小，因而集电极电流趋于下降，其结果是集电极电流基本上维持恒定，从而达到了稳定晶体三极管工作点的效果。

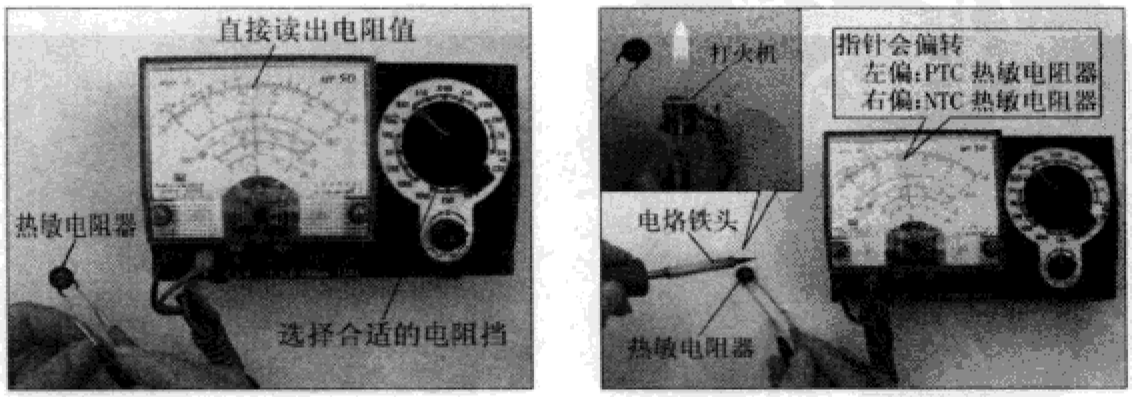
还有一种功率型NTC热敏电阻器（可通过1～10A强电流），它串接在一些电子设备的电源电路中，能够有效抑制开机瞬间产生的浪涌电流，成为电子设备免遭破坏并延长寿命的最为简便而有效的“保护神”。它的最大特点是，在完成抑制浪涌电流作用以后，由于所通过电流的持续作用，其电阻值将下降到非常小的程度，所消耗的功率可以忽略不计，不会对正常的工作电流造成影响。这种功率型NTC热敏电阻器已广泛应用在各种电子装置（如开关电源、UPS电源、各类电加热器、电子节能灯及电子镇流器等）电源电路的保护，以及彩色显像管、白炽灯和其他照明灯具的灯丝保护方面。

代换常识

热敏电阻器损坏后，最好是用同型号、同标称电阻值的热敏电阻器更换，当无同型号热敏电阻器时，也可用型号相同、阻值相近的产品代换。例如，彩电消磁电路所用的15Ω热敏电阻器损坏后，可以用12Ω或18Ω的同类型产品代换，电路仍可正常工作。电冰箱压缩机启动用PTC热敏电阻器损坏后，应尽量用同型号的热敏电阻器更换，如无同型号产品可换时，可用标称电阻值、额定功率、额定电压、最大电流和动作时间等参数相同或相近的同类型产品来代换。

误差补偿

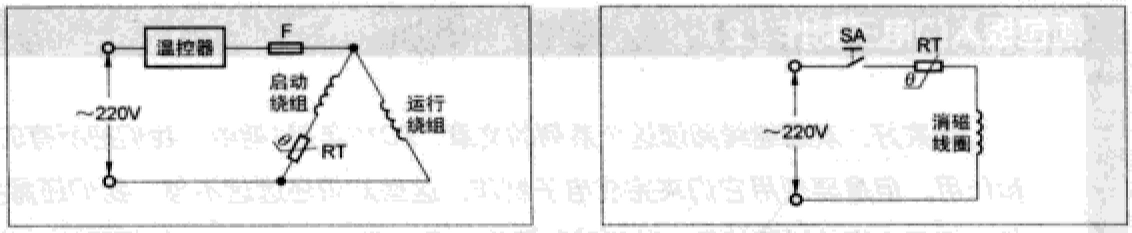
普通热敏电阻器的标称电阻值都有一定的允许误差，这极不利于厂家批量生产测量仪表。为了克服热敏电阻器参数不完全一致的先天性缺点，通常采用固定电阻器和它串、并联的方法来进行补偿校正，以获得精度较高的测量专用“可互换传感



（a）测常温电阻　（b）测热敏性能

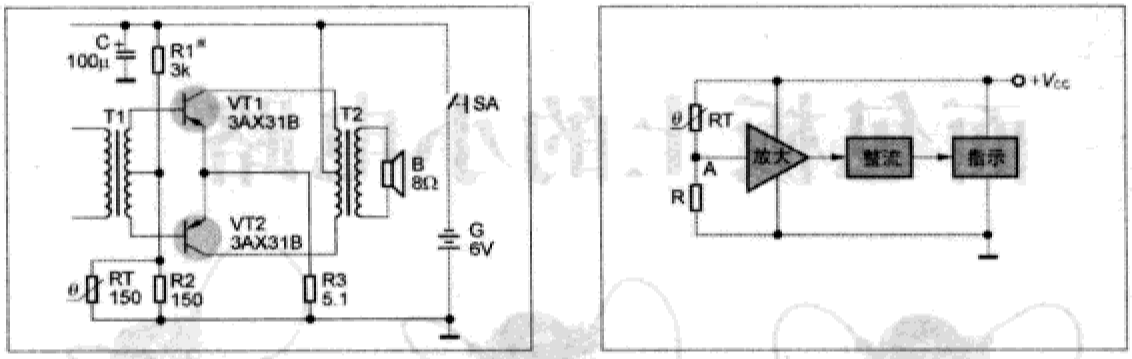
图1 热敏电阻器的检测

器”组件。该组件不仅满足了厂家批量生产时的需要，而且为测量仪表的维修（即更换“可互换传感器”）带来方便。此外，有的厂家还把一批热敏电阻器中标称电阻值误差正、负百分比相同的产品并联起来，以组成高精度、可直接互换的“复合热敏电阻器”。这些办法，电子爱好者应心领神会，在制作或维修时加以灵活应用。



(a) 用于冰箱启动电路　(b) 用于彩电消磁电路

图2 PTC热敏电阻器的典型应用



(a) 用于温度测量　(b) 用于温度补偿

图3 NTC热敏电阻器的典型应用

故障处理

彩电消磁电路所用的PTC热敏电阻器（也称消磁电阻器），常出现黑色胶木外壳内的片状电阻体发生碎裂的情况，如果碎为两片，可挑选其中较大的一片，测其阻值。如在20～30Ω便可用，先把这片电阻体塞入金属触片中央，周围空隙处再塞入一些瓷碗或玻璃碎片，使电阻体不易移位，即可上机使用了。还有一种故障是片状电阻体两端面的镀银导电层与金属触片的接触处发生了打火，形成两面（或一面）被氧化烧黑，导致元件接触不良或开路。但这时整个电阻体并没有碎裂，原触点边缘导电涂层仍然完好。遇此情况，可用细砂纸打磨掉金属触片上的氧化层，另找一片（或两片）薄铜片，剪成和电阻体一样大小的圆形片，紧贴在电阻体有烧黑点的端面，并嵌入胶木壳中的两金属触片间。装好后用万用表进行测量，若电阻值与标称电阻值基本相同，即可上机使用。

优势应用

专门用于过流保护的PTC热敏电阻器（俗称“自恢复保险”、“万次保险”），具有对异常温度及异常电流自动保护，故障排除后又可自动恢复到预保护状态的特性，可取代传统的保险丝，已广泛用于电动机、变压器、开关电源、电子线路等的过流、过热保护。使用时，将这种PTC热敏电阻器串联在被保护设备的供电回路中，当设备处于正常状态时，通过PTC热敏电阻器的电流小于它的额定电流，因其阻值很小，不会影响被保护设备的正常工作。当设备出现故障，导致供电电流大大超过额定电流时，PTC热敏电阻器陡然发热并呈高阻态，使设备处于相对“断开”状态，从而保护设备不遭受过电流破坏。当故障排除后，PTC热敏电阻器亦自动回复至低阻态，设备又恢复正常工作。当再次出现故障时，又可实现其过流过热保护功能。显然，这是传统的一次性保险丝所无法达到的。

在选用PTC热敏电阻器作为过流、过热保护元件时，首先，应根据被保护设备的最大正常工作电流，来确定PTC热敏电阻器的不动作电流（即最大电流），然后，根据安装部位在设备正常工作时所达到的最高温度，来确定PTC热敏电阻器的转变点温度（即开关温度）。最后，按照设备实际情况，确定PTC热敏电阻器的动作电流（即保护电流）、最大工作电压、额定零功率电阻等参数，同时还应考虑元件的外形尺寸等因素。一般来说，为得到可靠的开关功能，动作电流至少要超过不动作电流两倍。

专门用于恒温加热的PTC热敏电阻器，具有恒温发热、无明火、热转换率高、受电源电压影响极小和自然寿命长等传统发热元件无法比拟的优势。目前，已在热熔胶枪、电热梳、电热驱蚊器、暖手器、干鞋器、电热加湿器及电子保温瓶等小功率电热器具中得到了广泛的应用。其工作原理：当给PTC热敏电阻器通上电后，因为自热，导致元件本体温度上升，电阻值进入跃变区，其工作电流迅速下降。随后，元件本体温度的升降始终控制着工作电流的减小与增大，从而使PTC热敏电阻器的表面温度始终保持在某一恒定值。该温度只与PTC热敏电阻器的转变点温度（居里点温度）和外加电压有关，而与环境温度基本无关。

使用PTC热敏电阻器作发热元件时应注意，PTC热敏电阻器具有自动恒温的特点，不需要温度控制系统，其发热功率在通电后由大到小，最后稳定。稳定功率与使用条件有关，同一个PTC热敏电阻器，使用条件不同时，稳定功率可能相差几倍。PTC热敏电阻器的表面温度由其自身控制，也可以通过断开电路控制，但不可以通过调节电压来控制表面温度。PTC热敏电阻器的工作电压非常宽，一般当工作电压变化达2倍时，其表面温度的变化仍非常小。当需要多个PTC热敏电阻器一起使用时，应采用并联，不可串联。

面包板入门电子制作（2）

◇杜洋

大家好，欢迎继续阅读这个系列的文章。2012年第1期中，我们把所有的元器件认识了一遍，知道了每种东西的名字和作用。但是要想用它们来完成电子制作，这些知识还远远不够。我们还需要熟悉每种元器件的特性，并花时间摆弄它们，摆弄它们的过程就是一种经验和积累。所以我们今天拿出比较好玩的一些元器件，在面包板上插接出简单但有趣的小电路。在你和元器件零距离接触的时候，你们就成了好朋友；在和好朋友玩的过程中，你就学到了电子技术，也会收获意想不到的快乐。我想这也是每一位电子爱好者之所以如此热衷电子制作的原因了。闲话少说，开始我们今天的制作吧。

面包板上的小电路

探密面包板

我们先来看一下面包板。面包板上有很多的洞洞，关于这些洞洞，在2012年第1期我也说了，它们是按照一定次序连接的。那么它们到底是按照什么次序连接的呢？我们现在还不清楚。所以在别的元器件还没有弄懂之前，我们先把面包板的内部结构弄清楚吧。因为面包板是我们的主角，如果我们没有弄懂它的话，怎么能叫面包板入门电子制作呢？

首先我们要把电池插入电池座当中，做一个小的测试电路，来测试面包板的连接是怎样的。我不希望把这个结构直接告诉大家，因为我是想用启发性的方式引导大家，通过自己的探索来研究清楚。我们先把一个电池放入电池盒当中。我们用这个电池座来做这样一个夹子，把电池的正极（标有+号和型号的一面）朝上，从侧面插入电池座，“咔”的一声，它就卡在了里面。这个时候电池上面就是正极，另一个引脚是负极？

接下来取一支LED灯，先把LED的正极向外弯到电池座的外壳上，然后取一条黑色的面包板专用线，将线头夹在电池负极上。用手将另外一条面包板线的一头与LED负极按压在外壳上，LED的正极夹到电池正极的金属弹片上。这样我们就得到了一个可以用两条线相碰来判断电路通断的测试器，如果两条线相碰，灯就会点亮。那么当我们把两根线头插入面包板的孔洞时，内部相连接的孔洞就会让LED灯点亮了。好，我们现在就来试试。把其中一条线随便插到面包板的一个孔里，就插到最边上这个孔吧；另一条线来进行测试，我们看看插到横行的另一边，哎？没有亮！是不是太远了？我们插近点，也没有亮！那我们再插到纵向上看看，哎！亮了！LED点亮即说明两条导线所插入的孔是连通的；再往下插，又亮了；再往下插，又亮了，又亮了，哦，原来这一排是连在一起的。不是横向的，

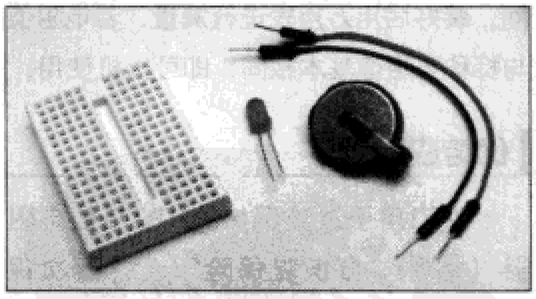


图1 测试面包板所用的元器件

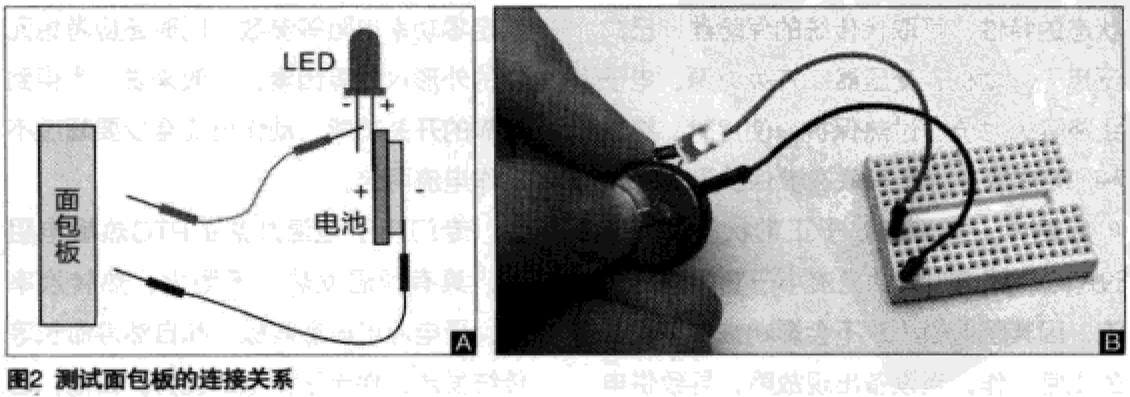


图2 测试面包板的连接关系

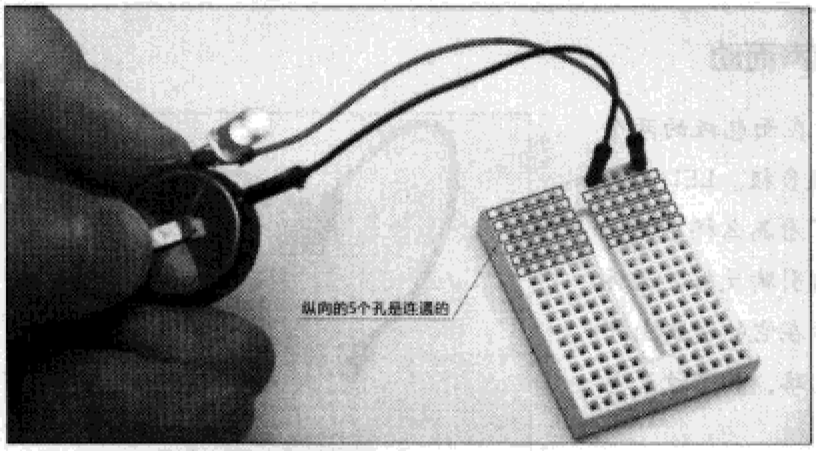


图3 面包板内部连接关系

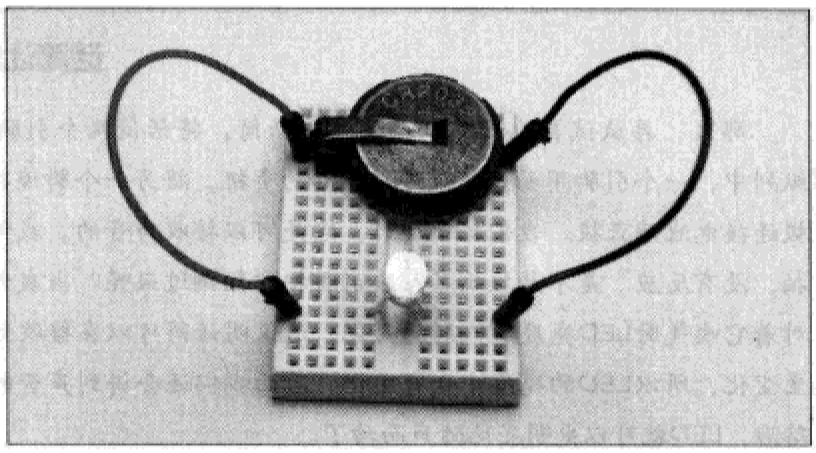


图4 在面包板上搭建的第一个电路

而是纵向的这一排是连在一起的。这说明面包板的每一纵列是连接的，对吗？你也亲自动手测试，看是不是这样。

原来面包板的内部结构是这样的。中间呢，是一个塑料的凹槽，两边的每一纵列的5个孔是连通的，这样接的方式，我们可以方便地连接了，因为它每一个列有5个孔是连接的。所以我们可以通过这种插接来转接一个电路，形成一个我们自己的面包板上的电路。把电池座和LED按照测试出来的规则插入面包板上，我们把电池座插到这个最边上的位置。负极引脚插在下数第三个格，正极引脚插在上数第二个格，“咔”的一声，这个电池座就扣到上面了。电池座插好了，按照我们之前分析的每一纵列的5个孔是连通的，那么最上面和最下面的孔就分别是电池的正负极了。我们习惯性地用红线标示正极，我想应该是红色比较醒目吧，因为正极很重要嘛；黑线表示负极，这样就得到了电池的正负极。拿一个LED，较长的引脚接红线，较短的引脚接黑线，哦，亮了，说明是可行的。好开心呀，我们完成了在面包板上的第一个电路制作。接下来我们就在这个基础上加一些元器件，看看其他元器件的特性是怎样的。

开关电路的使用

我们再看看将LED作为一个指示灯，把其他元器件加进去后的效果。最常见的一个电路就是开关，将开关两个引脚分别插在面包板的两个纵列中，一个引脚用面包板线连接LED的负极，将另一个脚连接电池座负极。LED的正极连接电池座正极上，按下开关，灯就亮，松开开关，灯就灭。这个开关电路应该是最简单的了。

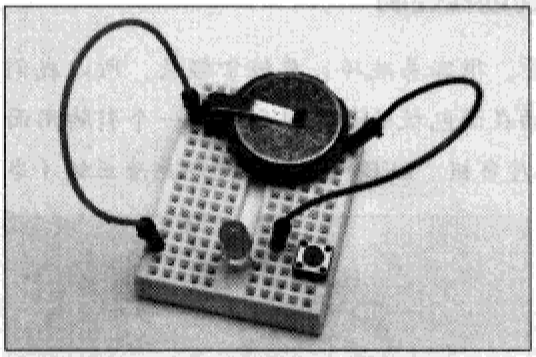


图5 按键控制LED灯的电路

体验电位器

我们再来看看别的呢，比如说这个电位器，可以通过旋转调节电阻值。那么可不可以通过它调节LED的亮度呢？它有3个脚，成一个三角形。思考一下，电位器上有3个引脚，它们的作用是什么呢？到底哪个脚可以用来调亮度呢？我们先试着把最外边的两个脚连到一起，看看可不可以。将电位器最外侧两个引脚分别插在面包板的两个纵列中，一个引脚用面包板线连接LED的负极，将另一个脚连接电池座负极。LED的正极连接电池座正极。插好之后，我们看一下，这个灯是微微的亮。我们转动这个手调的旋钮，正反转LED的亮度都没有变化，说明不是这两个脚。我们把连接LED负极的线在电位器这一头拔下来，插到电位器中间脚所在的面包板纵列上，哎，LED有一个亮度变化哦，好像亮了点儿。好，我们再调节下旋钮，LED随着电位器旋钮的旋转，亮度发生了变化。逆时针旋转亮度减小，顺时针旋转，亮度增大。可以了，我们可以通过电位器调节LED亮度了。

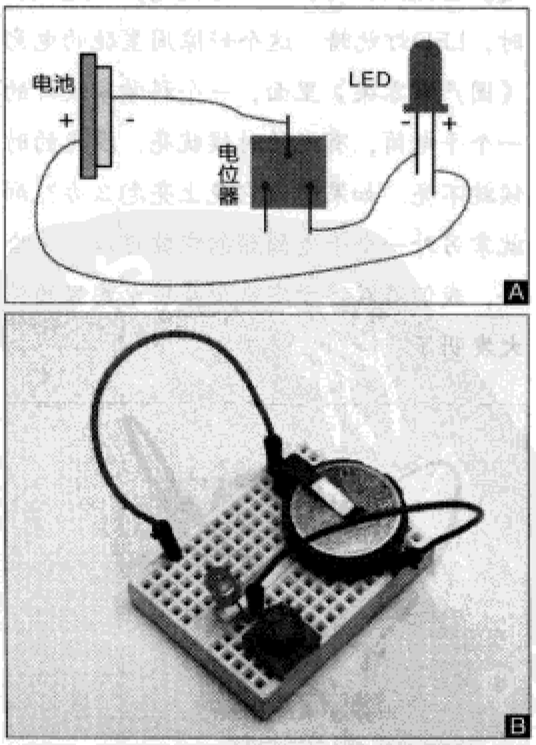


图6 电位器控制LED亮度的电路

话筒让LED随声而动

那么，再试试其他的呢。试试这个话筒，将话筒两个引脚分别插在面包板的两个纵列中，一个引脚用面包板线连接LED的负极，将另一个脚连接电池座负极。LED的正极连接电池座正极。我们之前说过，它是可以接收声音的。我们吹一下看怎么样，拍一拍，没有反应。是不是接反了？我们再把它颠倒过来呢？当我们把话筒引脚反转之后再对着它吹气时LED亮度有微弱的变化，这说明话筒可以在接收到声音时在它的引脚上产生变化，所以LED的亮度才会有变化。后面我们还会讲到声音的放大电路，加了放大电路后，LED就可以更明显地随声而动了。

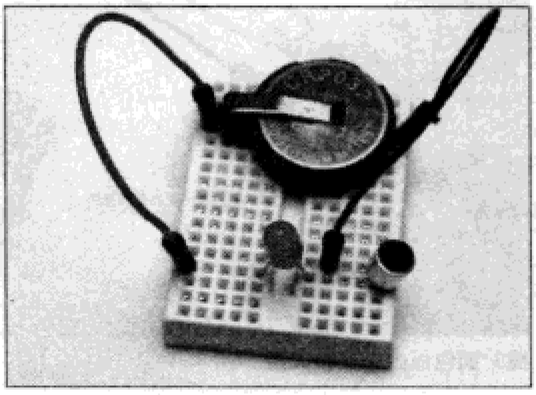


图7 声音大小控制LED亮度的电路

能实现光控的光敏电阻

我们再来看看这个光敏电阻，将光敏电阻两个引脚分别插在面包板的两个纵列中，一个引脚用面包板线连接LED的负极，另一个脚连接电池座负极，LED的正极连接电池座正极（串联）。当我把手挡在光敏电阻表面时，灯就灭了；我挪开呢，灯就亮了，但也不算太亮。我们拿家里的手电筒来试一下，用手电筒照这个光敏电阻，灯马上就变得非常亮了，移开手电筒后LED又变暗。看来光敏电阻可以通过它表面上的光照强弱来控制LED灯的亮度。当光线强时，LED灯就亮，当光线弱时，LED灯就暗。这个好像周星驰的电影《国产零零柒》里面，一个科学家设计的一个手电筒，有光的时候就亮，没光的时候就不亮。如果想让它晚上亮怎么办？那就拿另外一个手电筒照射它就可以了。哈哈，我们现在终于实现周星驰电影里的伟大发明了。

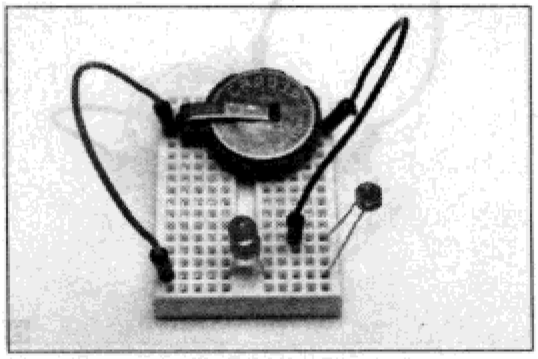


图8 光线强弱控制LED亮度的电路

发挥电容的作用

光敏电阻试过了，再来玩玩电容吧。我们接个电容，将电容两个引脚分别插在面包板的两个纵列中，一个引脚用面包板线连接LED的负极，将另一个脚连接电池座负极。LED的正极连接电池座正极（串联）。LED会不会更亮呢？我们插一下试试看，哎，LED闪了一下。我们再插一下，哎，没了，不闪了。我们把电容的正负极连接反转一下插入，又闪了一下。

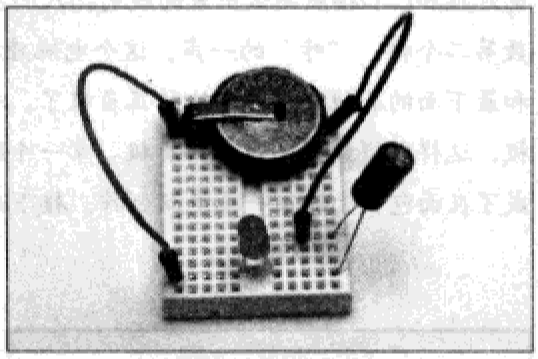


图9 会让LED闪光的电容反转连接电路

我们再反转，又闪了一下。哦，我们只要来回反转连接这个电容，LED就会闪来闪去。这是为什么呢？闪一下就不闪了，这种100μF的电容为什么会有这种效果呢？我们试试用标有474字样的独石电容连上，没有闪，我们把它的正负极连接反转一下再试试，哎，闪了一下，但是很微弱地闪了一下。说明这种小电容容量比较小，它的外壳上写着474，这个474是什么意思呢？大家先思考一下。

干簧管也能实现远程控制

我们再试试干簧管。因为干簧管是玻璃管，很容易破碎，要轻拿轻放，所以我们轻轻地把引脚掰弯，将干簧管两个引脚分别插在面包板的两个纵列中，一个引脚用面包板线连接LED的负极，将另一个脚连接电池座负极。LED的正极连接电池座正极（串联），插好后灯是灭的。我们找来磁铁看看，让磁铁靠近干簧管，呀！LED亮了。分别用磁铁的正面和侧面靠近并使干簧管导通时，响应距离不同。正面要距离更近，侧面距离较远就可以使干簧管导通。看来干簧管真是名不虚传啊，它可以通过磁性控制开关，不需要直接接触它。这算是远程控制吗？呵呵。

图10 用磁铁靠近干簧管可以点亮LED

温度电阻应用小实验

我们再来看看温度电阻，将温度电阻两个引脚分别插在面包板的两个纵列中，一个引脚用面包板线连接LED的负极，将另一个脚连接电池座负极。LED的正极连接电池座正极（串联）。这个灯亮了，但是很微弱。这个时候我们要进行稍微危险点的动作了（年纪小的爱好者请在家长陪同下实验）。用普通打火机烧一下温度电阻的玻璃管部分，我们在烧的过程当中，LED灯就会慢慢变亮了。看到没有？当我停止加热后，这个LED就会慢慢地变暗了；我再烧一下，又变亮了，停止加热后又慢慢地变暗了。看来当温度电阻上温度变高的时候（打火机火苗温度大概在600℃），电阻阻值变小，这个灯就变亮了，哦，原来是这样调节的。温度电阻好烫，小心不要烫到手，也别烫坏面包板了。

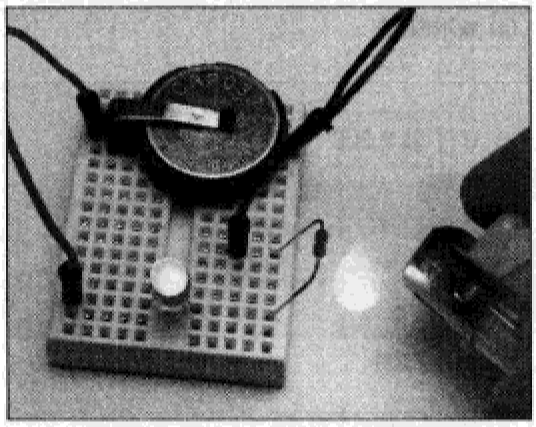


图11 用打火机加热热敏电阻可以让LED变亮

体验电阻的作用

接下来我们来试试电阻吧。电阻上有各种型号的标示，每一种电阻中间的部分也有不同颜色的圈圈，它们是干什么用的呢？我们先试试100Ω的，将电阻两个引脚分别插在面包板的两个纵列中，一个引脚用面包板线连接LED的负极，将另一个脚连接电池座负极，LED的正极连接电池座正极（串联）。插好后灯就亮了，亮度很正常。我们再试试4.7kΩ（接法同100Ω的电阻）的，k是千的意思，像我们电脑上的文件，有千字节kB，还有千米km，这个4.7k的电阻插上后，灯也亮了，但是亮度明显比100Ω的要低。我们再来试试别的，有一个510kΩ的，几乎没有亮。（思考：电阻上面的各种不同颜色是做什么的呢？）510kΩ的电阻没能让LED点亮，看来可能是电阻值太大了，也就是说电阻越大，LED的亮度就越低。看来这个电阻真的可以阻碍电流，使得本来电量不大的电池，电量变得更小，让LED变得更不亮了。这个实验让我想起了中学课本上的一个公式：I=U/R。

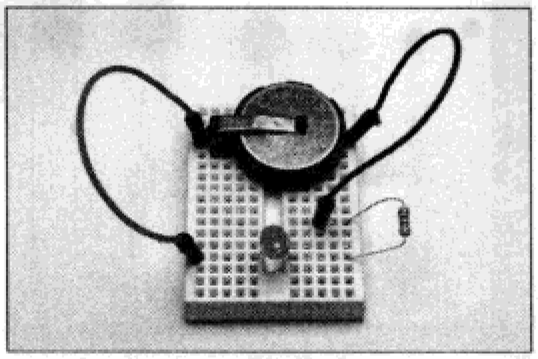


图12 普通电阻改变LED亮度的电路

话筒和扬声器的串联

我还想再做一个实验，能不能把话筒和扬声器串联起来，然后将话筒和扬声器各自悬空的一个引脚，分别连接电池座正极和负极，看看对着话筒说话，扬声器能不能发出声音来，如果真的能发出声音应该是很好玩的实验。按图接好电路，对着话筒吹气的同时听扬声器里有没有声音。哦，没用听到扬声器发声，看来直接把扬声器和话筒串联是不能工作的。我们需要进一步来制作音频放大电路，在三极管或芯片的功率放大之下，话筒才可以推动扬声器，让我们听到自己的声音。别着急，以后我就会讲到了。

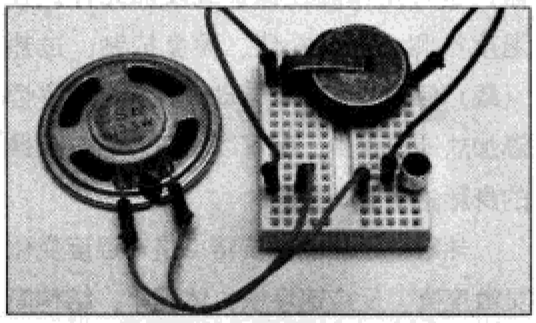


图13 测试话筒是否可以直接让扬声器发声？

好了，本文的全部实验就是这些。我们通过这些小实验，一方面认识了面包板的内部结构、连接是怎样的。另外我们通过测试面包板的方法，了解了一种可以用电池和LED做的小型测试电路，来测试其他元器件或电路的通断。这个可以在以后的实验中经常使用，很方便。另外我们还了解了大部分元器件的特性和用法，比如电阻、电位器，话筒以及光敏电阻，它们都被接入了实际的电路，并在不同情况下对LED灯亮度变化产生了影响。

这就是一个好的开始，做完本文的实验，我们并不一定学到了多少知识，而是在我们的潜意识中得到了一种实践的体验，在这种新体验之下，你的思维和想象力会发挥更大的作用，帮助你很快进步。那么我们也将继续做一些探索性的实验，在面包板的帮助下认识各种不同LED灯的特性，并利用这些特性来制作电池电量指示灯等有趣的制作。不要走开，下文更精彩。Ⓦ

《面包板入门电子制作》盒装套件

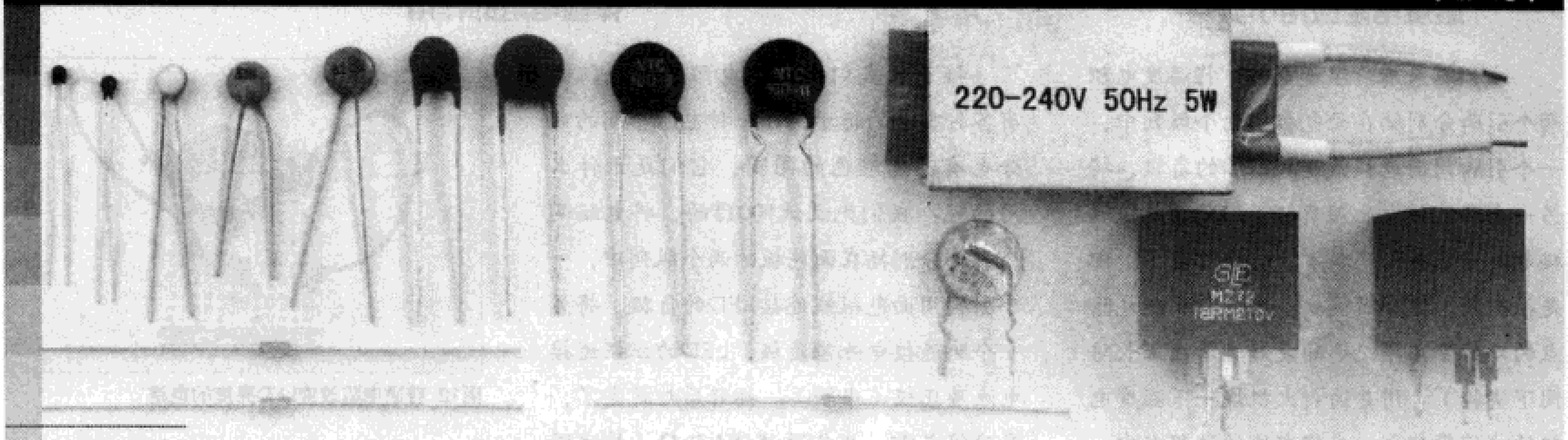
148元/套+15元（邮费）

包括一盒元器件、教学文章和不断更新的高清教学视频文件。助你轻松入门电子技术基础，并可独立设计电路。

详细邮购方法见淘宝店boqu.taobao.com。

常用元器件的识别与使用（29）

◇张晓东



形形色色的热敏电阻器

热敏电阻器（Thermistor）是一种对温度极为敏感的电阻器，当温度变化时其阻值也会随之变化。热敏电阻器种类较多、形状各异，它既可用作温度传感器，也可用作温控保护或发热元件。在温度检测、温度补偿、温度控制、过热（载）保护、无触点自动开关和小功率恒温加热等电路中，都可以看见热敏电阻器的身影。

热敏电阻器的主要特点是对温度变化灵敏度高、反应速度快、体积小、结构简单、使用方便和寿命长，它具有灵活多样的外形和不同的功能，广泛应用在各种电子、电气设备中。下面向初学者介绍常用热敏电阻器的识别与使用方法。

如何识别热敏电阻器

1. 外形及分类

常见热敏电阻器几乎全部都是两端无极性元件，其种类如图1所示。

圆柱状热敏电阻器的外形与一般玻璃封装晶体二极管一样，其工艺成熟，生产效率高，产量大而价格低，成为测量型热敏电阻器的主流。珠粒状热敏电阻器由于体积小、热时间常数小，所以适合制造点温度计、表面温度计等，电子体温计几乎全部都采用了这种热敏电阻器。方体（片）状热敏电阻器体积一般比较大，属于功率型产品，根据用途不同，将彩电消磁电路等使用的产品制造成黑色胶木壳方体状，而将用于小型电加热电路中的产品制造成金属壳（实为散热板）片状。

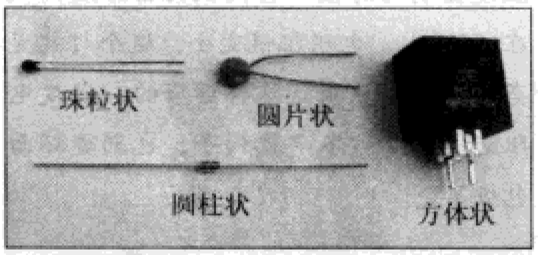
2. 性能及特点

由于正、负两种温度系数的热敏电阻器的特性截然不同，所以相对应的用途也不一样。

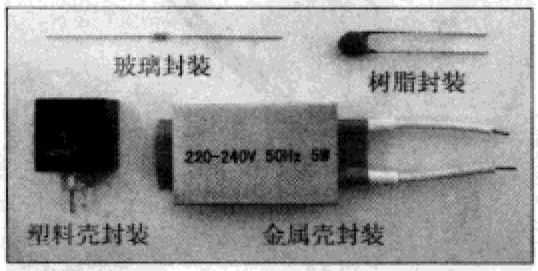
（1）NTC 热敏电阻器

NTC是英文Negative Temperature Coefficient的缩写，其含义为负温度系数。NTC热敏电阻器的阻值随温度升高而减小（电阻值与温度变化成反比关系），其温度特性曲线如图2（a）所示。NTC热敏电阻器是用锰、钴、镍、铜、铝等金属氧化物（具有半导体性质）或碳化硅等为主要原料，并采用陶瓷工艺制作而成。根据使用温度条件不同，NTC热敏电阻器可分为低温（-60～300℃）、中温（300～600℃）和高温（>600℃）三种。

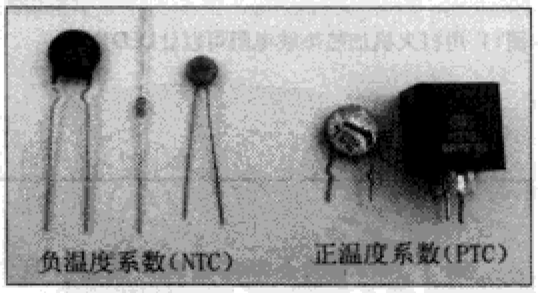
NTC热敏电阻器的温度每升高1℃，阻值会减小1%～6%，阻值减小程度视不同型号而定。NTC热敏电阻器广泛应用于



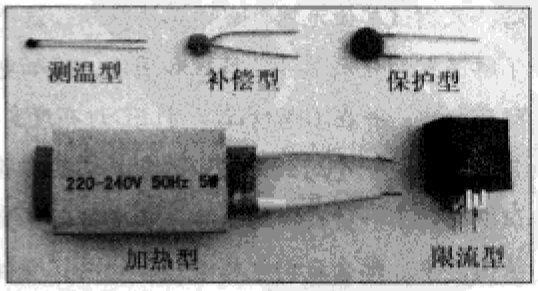
(a) 按外形区分



(b) 按外壳区分

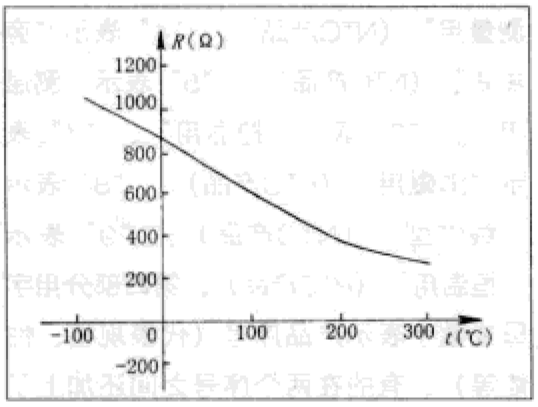


(c) 按性能区分

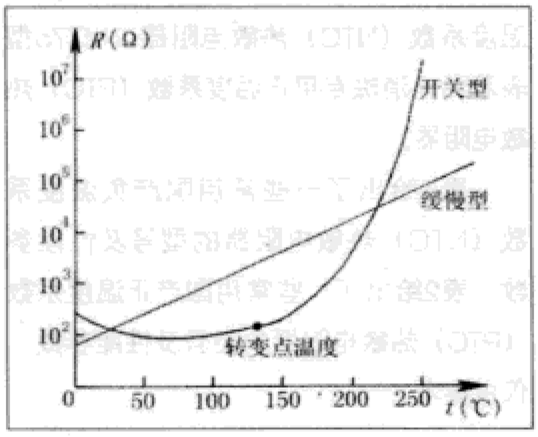


(d) 按用途区分

图1 常用热敏电阻器的分类



(a) NTC产品



(b) PTC产品

图2 热敏电阻器的温度特性曲线

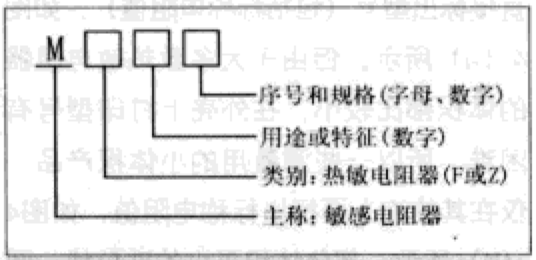


图3 国产热敏电阻器的命名规则

电冰箱、空调器、微波炉、电烤箱、复印机、打印机等家电及办公产品中，主要作为温度检测、温度补偿、温度控制、微波功率测量及稳压控制等使用。

(2) PTC 热敏电阻器

PTC是英文Positive Temperature Coefficient的缩写，其含义为正温度系数。PTC热敏电阻器的阻值随温度升高而增大（电阻值与温度变化成正比关系），其温度特性曲线如图2（b）所示。PTC热敏电阻器是在钛酸钡（$BaTiO_3$）中掺入适量的稀土元素，并采用陶瓷工艺制作而成。

PTC热敏电阻器可分为缓慢型和开关型。缓慢型PTC热敏电阻器的温度每升高1℃，其阻值会增大0.5%～8%。开关型PTC热敏电阻器有一个转变点温度（又称居里点温度，钛酸钡材料PTC热敏电阻器的居里点温度一般为120℃左右），当温度低于转变点温度时，阻值较小，并且温度变化时阻值基本不变（相当于一个闭合的开关），一旦温度超过转变点温度，其阻值会急剧增大（相关于开关断开）。

缓慢型PTC热敏电阻器常用在温度补偿电路中。开关型PTC热敏电阻器由于具有开关性质，常用在开机瞬间接通而后又马上断开的电路中，如彩电的消磁电路和冰箱的压缩机启动电路就用到开关型PTC热敏电阻器。目前，PTC热敏电阻器除了广泛应用于彩色电视机消磁电路、电冰箱压缩机启动电路及过热或过电流保护等电路外，还大量用于电驱蚊器、卷发器、电热垫和微型电暖器等小家电产品中。

3. 主要参数

热敏电阻器的参数有标称电阻值（R_{25}）、额定功率（P_E）、电阻温度系数（α_T）、转变点温度（T_C）、时间常数（τ）、材料常数（B）、允许误差、测量功率、电阻温度系数、最大电压、最大电流和绝缘电阻等多项，初学者在业余制作或维修时只需要掌握前6项参数即可。

4. 型号命名

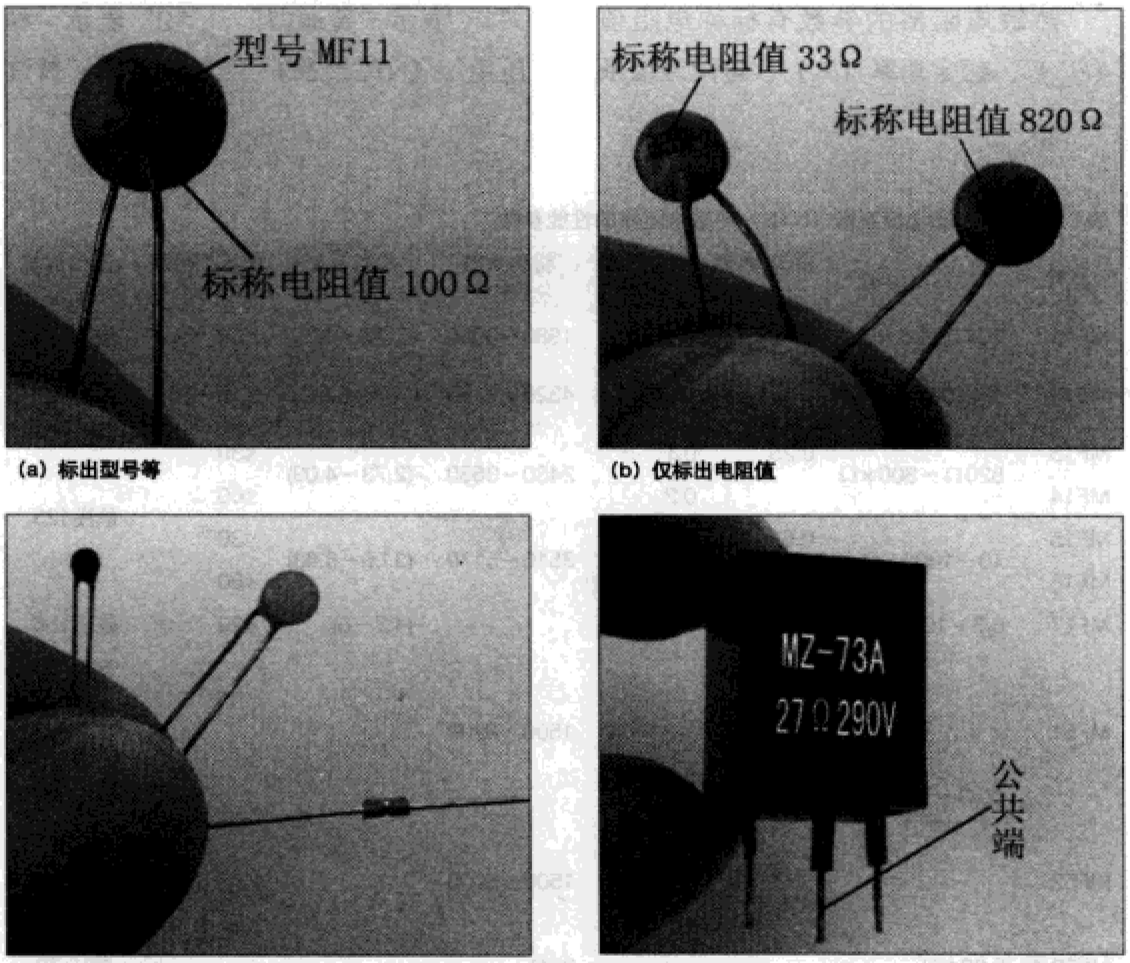
国产热敏电阻器的型号命名遵循了敏感电阻器（包括光敏电阻器、压敏电阻器、湿敏电阻器、气敏电阻器、力敏电阻器和磁敏电阻器等）的统一命名规则，其型号一般由4部分组成，格式和含义如图3所示。第一部分用汉语拼音字母“M”表示“敏感电阻器”。第二部分用汉语拼音字母表示产品类别，其中“F”表示“负温度系数热敏电阻器”，“Z”表示“正温度系数热敏电阻器”。第三部分用数字表示产品的用途和特征，其中“0”表示“特殊型”（NTC产品）、“1”表示“普通型”、“2”表示“稳压用”（NTC产品）、“3”表示“微波

表1 常用国产负温度系数（NTC）热敏电阻器的性能参数

型号	标称电阻值	额定功率 (W)	测量功率 (W)	材料常数 B(K)	温度系数 (%/℃)	时间常数τ (s)	工作温度 (℃)
MF11	10Ω～1.5 kΩ	0.25	0.1	1980～3030	-(2.23～4.09)	≤30	最高125
MF12	1～1000 kΩ	0.25、0.5、1	0.04～0.2	4320～6160	-(4.7～6.94)	≤15～86	最高120
MF13	820Ω～300 kΩ	0.25	0.1	2430～3630	-(2.73～4.09)	≤30	最高125
MF14			0.2			≤60	
MF15	10～1000 kΩ	0.5	0.06	3510～5170	-(3.96～5.83)	≤30	
MF16			0.1			≤60	
MF17	6.8～1000 kΩ	0.25	0.2		-(4.2～6)	≤20	最高155
MF51	10Ω～1000 kΩ	0.5	≤0.02	1500～6200			-80～55
							-55～125
							40～125
							125～315
MF52				1500～5600			-80～55
							-55～125
							40～125
MF53-1	2.89 kΩ			3515			-25～70
MF53-2	345Ω	8		2800			-55～70
MF53-3	1 kΩ			2970			-40～70

表2 常用国产正温度系数（PTC）热敏电阻器的性能参数

型号	标称电阻值	转变点温度TC(℃)	温度系数(%/℃)	额定功率(W)	额定电压(V)	最大电流(A)	最大功耗(W)	用途
MZ2A		60						
MZ2B	0.1~3.3Ω	70			AC110、220	0.5	0.1	用于限流
MZ2C		80						
MZ2D	100Ω	120						
	56~510Ω		1~4					
MZ11	560Ω~5.6kΩ		2~6	0.25				温度补偿
	6.2Ω~10kΩ		3~8					
MZ21-1	300Ω	60			AC220	0.6	0.2	用于限流
MZ21-2	10Ω、15Ω	80				0.75		
MZ22	4.7kΩ	135			DC15			录像机限流
MZ23	500Ω~3kΩ	80			AC220			电子镇流器
MZ41	1~10kΩ	150~280			AC110、220			用于加热器
MZ41A	400Ω~1kΩ							
MZ42	200Ω~2kΩ	160~180			DC12			
MZ64	<500Ω	40~80			DC5			过热保护
	<250Ω	100~140						
MZ72	18Ω				AC220			
MZ73	27Ω				AC290			彩电消磁
MZ75	18Ω				AC220			



(a) 标出型号等　(b) 仅标出电阻值　(c) 无字标产品　(b) 仅标出电阻值

图4 热敏电阻器的识别

测量用”（NTC产品）、“4”表示“旁热式”（NTC产品）、“5”表示“测温用”、“6”表示“控温用”、“7”表示“消磁用”（PTC产品）、“8”表示“线性型”（NTC产品）、“9”表示“恒温用”（PTC产品）。第四部分用字母或数字表示产品序号（代表规格、性能等），有的在两个序号之间还加上了“-”号。例如，MF53-1型表示测温用负温度系数（NTC）热敏电阻器，MZ75型表示彩电消磁专用正温度系数（PTC）热敏电阻器。

表1给出了一些常用国产负温度系数（NTC）热敏电阻器的型号及性能参数，表2给出了一些常用国产正温度系数（PTC）热敏电阻器的型号及性能参数，仅供参考。

5. 产品标识

常用热敏电阻器的外壳上一般都会直接标出型号（包括标称电阻值），如图4（a）所示。但由于大多数热敏电阻器的体积都比较小，在外壳上打印型号有困难，所以一些测量用的小体积产品，仅在其外壳上面标出标称电阻值，如图4（b）所示。部分体积更小的珠粒状、圆柱状产品，更是像图4（c）所示的那样，什么都不标出，这在使用中一定要留心，不要将它们与形状很相似的晶体二极管等元器件弄混淆了。常用热敏电阻器都是两端产品，但彩电消磁电路所用的PTC热敏电阻器（也称消磁电阻器）有两端和三端之分。三端产品如图4（d）所示，其内部封装有两只温度系数不一样的PTC热敏电阻器，使用时不可接反。

总体来说，通过热敏电阻器的外壳标识，是不能很好了解到产品的一些主要性能和参数的。要了解热敏电阻器的具体特性和有关参数，唯一的途经就是查看有关元器件参数手册或厂家提供的说明书。

◇张晓东

会迎客的卡通“小龙”

按照中国传统的十二生肖纪年习俗，2012年（即农历壬辰年）是龙年。各种卡通造型的漂亮毛布绒“小龙”大量应市，其可爱的造型以及应景的寓意深受人们的喜爱。

如果动手在可爱的卡通毛布绒“小龙”的身体内安装上下面介绍的感光式电子语音发声装置，则会使其更加逗人喜爱：当其前方5m范围内有人经过时，它便发出响亮的“您好！欢迎光临”礼貌招呼语！

这个会说话的卡通“小龙”具有电路简单、灵敏可靠、造价低（电路部分成本不足6元）、耗电省等特点。

工作原理

会迎客的“小龙”电路如图1所示，它巧妙地利用了人体经过有效探测区域时，会引起环境自然光线突然变化这一传感信号来触发电路工作。光敏电阻器RL、晶体三极管VT和周围阻容元件等构成了感光式脉冲触发电路，语音集成电路A、电阻器R4和扬声器B等构成了语音发生电路。

平时，光敏电阻器RL检测到周围较为稳定的环境光线，使其光电阻呈现较低阻值、且保持基本稳定不突然变化。电容器C1两端亦保持有一定的左正右负直流电压。由于晶体三极管VT的集电极电阻器R3取值比较大，尽管其基极偏流电阻器R2取值更大，但此时VT仍然处于比较深度的导通状态，与VT集电极相接的语音集成电路A的触发端TG处于低电平（<1/2VDD），A因得不到正脉冲触发信号而不工作，故扬声器B不发声。

当有人经过光敏电阻器RL的前方时，会引起其RL所检测到的周围的光线突变，于是RL两端光电阻值突然增大，从而导致电容器C1的正极端电位突然降低，晶体三极管VT的偏流主要通过电阻器R1形成C1的反向充电电流，使VT反偏截止，其集电极输出正脉冲（≥1/2VDD）触发信号。于是，语音集成电路A受触发工作，其输出端OUT1、OUT2输出一遍内储的“您好！欢迎光临”语音功率电信号，直接推动扬声器B发声。人体通过RL前方后，RL恢复稳定的低电阻值，电池G通过RL和VT发射结对C1快速正向充好电，为下一次探测到人体后再次触发语音电路做好准备。

电路中，R4为语音集成电路A的外接振荡电阻器，其阻值大小影响语音声的速度和音调。C2为退耦电容器，在电池G电能快用尽、内阻增大时，可有效地避免扬声器B发声时产生畸变（严重时会产生寄生振荡，无法正常发声），相对延长电池的使用寿命。实践证明，C2是不可以省掉的。

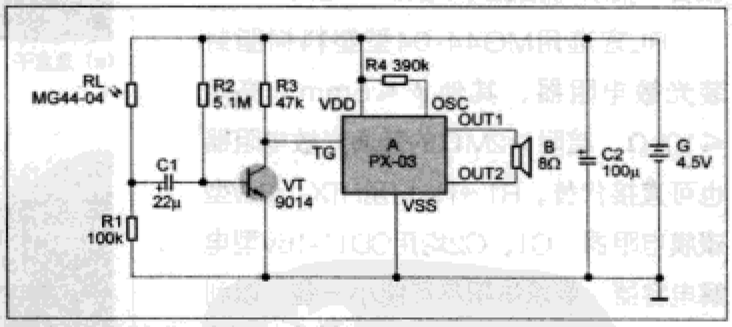


图1 会迎客的“小龙”电路原理图

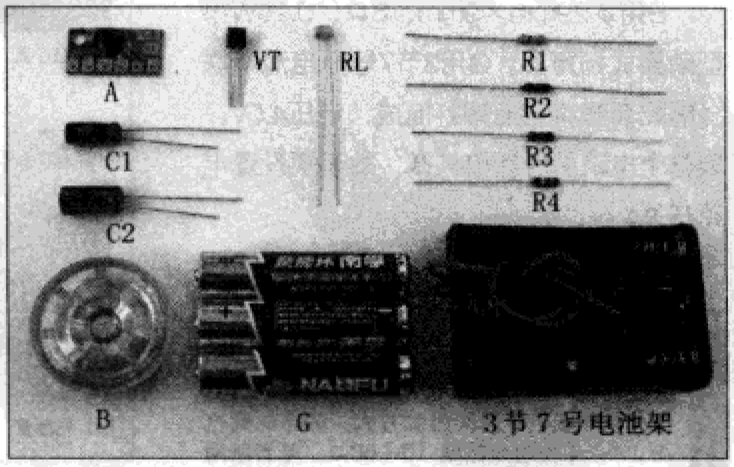


图2 需要准备的元器件实物图

准备好元器件

图 2 所示是该制作所用元器件的“全家福”实物照片，读者可按需进行选购。

A选用PX-03型“您好！欢迎光临”语音集成电路。该集成电路采用黑胶封装形式集成在一块尺寸约为21mm×10mm的小印制电路板上，并给有插焊外围元器件的脚孔，使用很方便。

读者如果手头无PX-03型语音集成电路，也可用其他内储“您好！欢迎光临”或“欢迎光临”声的同类语音合成集成电路来代替。一般来讲，只要分清楚这类集成电路的电源正极（VDD端）、电源负极（VSS端）、高电平触发端TG、音频输出端OUT1和OUT2，不管型号、外形如何，均可直接接入电路代替PX-03型语音集成电路。有些产品内部不包含音频功率放大电路、且只有一个输出端OUT，使用时需要外接一只8050型功率放大晶体三极管才能推动扬声器发声，这一点读者应注意。

晶体管VT选用9014（集电极最大允许电流I_{CM}=100mA，集电极最大允许功耗P_{CM}=310mW）或3DG8型硅NPN小功率三极管，要求电流放大系数β＞120。

RL宜选用MG44-04型塑料树脂封装光敏电阻器，其他φ≤5mm、亮阻≤10kΩ、暗阻≥2MΩ的普通光敏电阻器也可直接代替。R1～R4均用RTX-1/8W型碳膜电阻器。C1、C2均用CD11-16V型电解电容器，要求体积尽可能小一些，以利于安装。

B用φ29mm×9mm、8Ω、0.25W小型动圈式扬声器。G用3节7号干电池串联（需配套塑料电池架）而成，电压4.5V。因整个电路平时耗电甚微，故无须设置电源开关。

TIPS

PX-03的主要参数：工作电压范围2.4～5.5V，典型值为4.5V；触发电压≥1/2VDD，具有正脉冲和低电平两种触发方式；静态总耗电≤5μA；工作温度范围-10～60℃。笔者所用的PX-03是网购来的，每片1.2元。

开始动手制作

整个制作过程可分为焊装电路机芯、检测并调试电路、组装三大步骤，现分步介绍如下：

◆ **第一步，焊装电路机芯。**图3所示为会迎客的“小龙”印制电路板接线图。首先，裁取一块尺寸约为30mm×15mm的单面敷铜板，参照图3左半部分绘出的印制电路板，采用刀刻法剥除掉不需要的铜箔，并在板面适当位置处用手电钻打出φ0.8mm的元器件引脚插装孔。钻好孔的印制电路板，在用细砂皮轻轻打磨掉（或用粗橡皮擦除）铜箔表面的污物和氧化层后，涂刷上一层松香酒精溶液（可事先按3份95%的酒精加1份研细的松香粉末比例装入小瓶备用），并自然风干。涂刷松香酒精溶液既可保护铜箔不被氧化，又便于焊接，真可谓一举两得。制成的印制电路

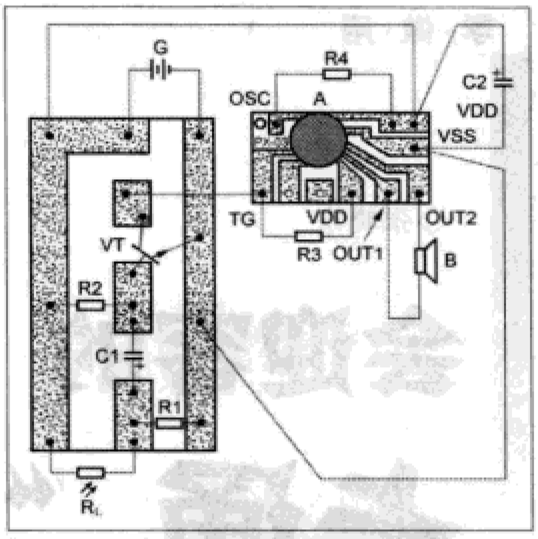


图3 会迎客的“小龙”印制电路板接线图

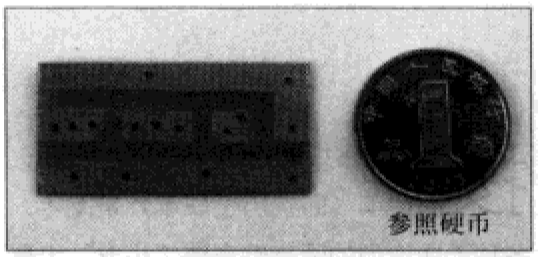
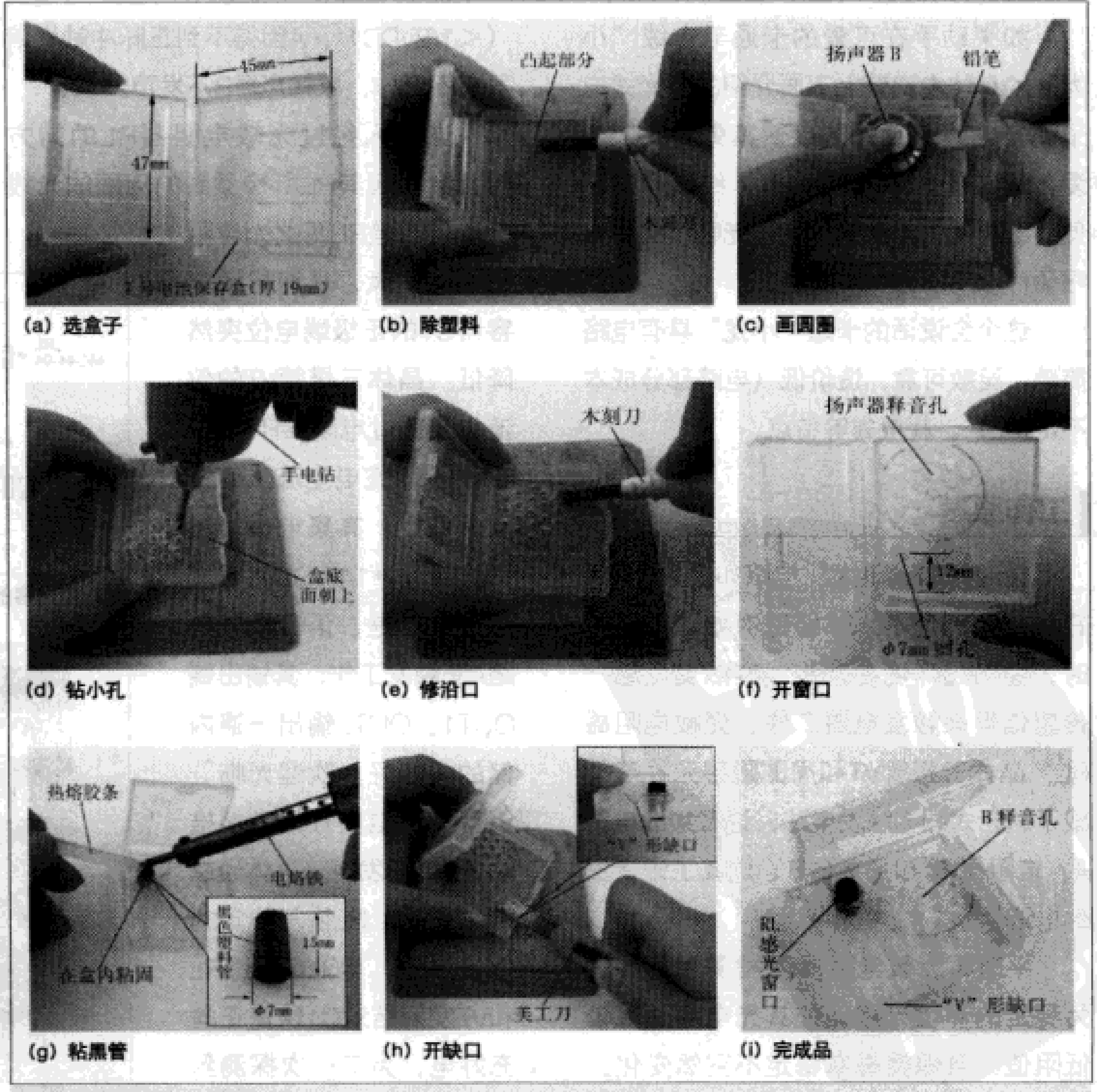
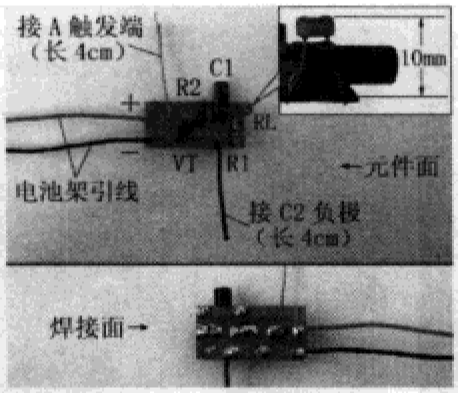


图4 刀刻法制成的印制电路板

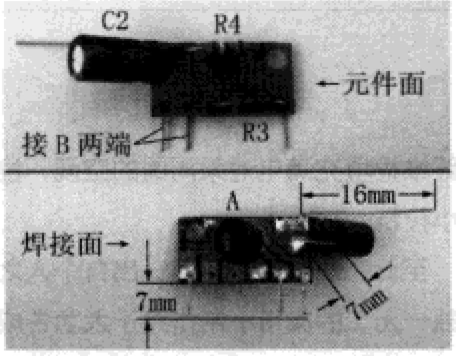


(a) 选盒子 (b) 除塑料 (c) 画圆圈
(d) 钻小孔 (e) 修沿口 (f) 开窗口
(g) 粘黑管 (h) 开缺口 (i) 完成品

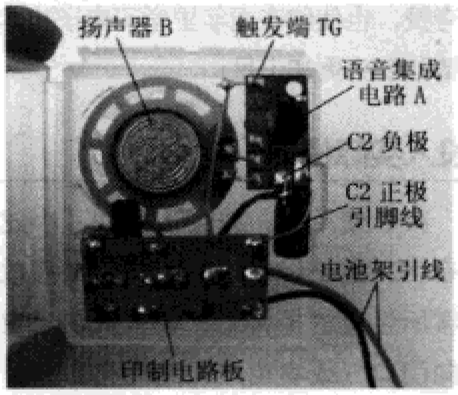
图5 加工安装盒的流程



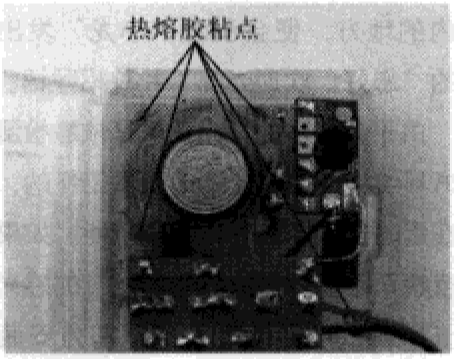
(a) 焊好的电路板



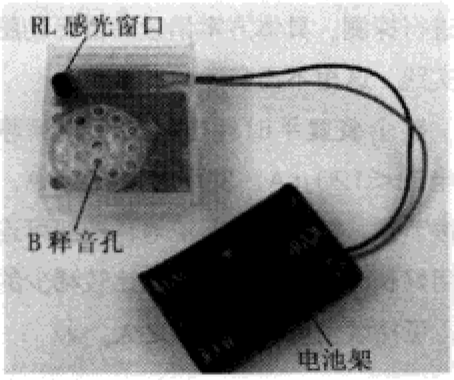
(b) 焊好的语音芯片



(c) 盒内安装



(d) 热熔胶固定



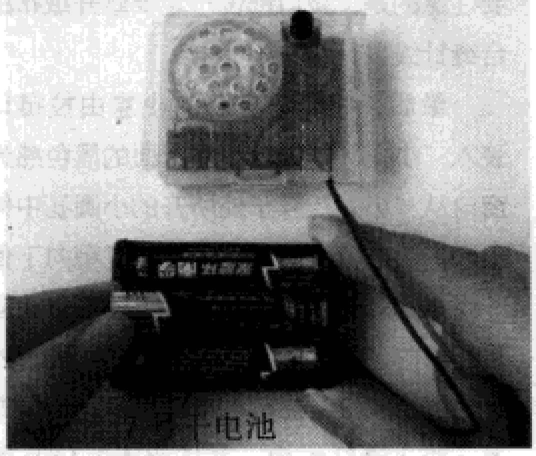
(e) 完成品

图6 机芯焊装流程

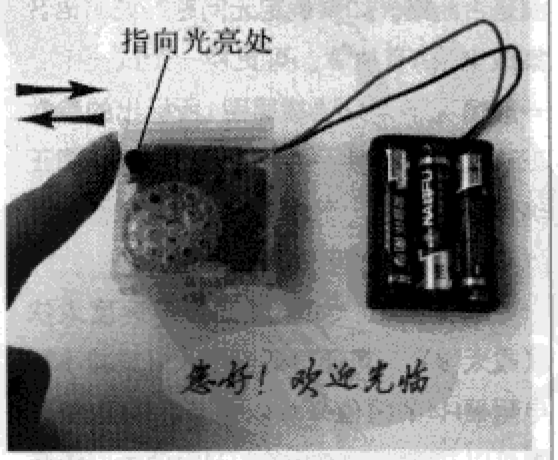
板实物如图4所示。

然后，选一个图5（a）所示的能够容纳4节7号干电池的塑料保存盒，作为电路安装盒。这种7号干电池保存盒（也称收纳盒），一般的电池专卖店都出售，价格在1～1.5元间。如果购买不到这样的电池保存盒，也可用大小差不多的其他塑料小盒来代替。电池保存盒在使用前应按照图5（b）所示，采用锋利的木刻刀铲除掉盒底的凸起部分（共10个，原用于定位干电池），以便安装电路。另外，还应按照图5（c）～图5（e）所示，在盒内的左上角倒扣扬声器B，用铅笔沿扬声器外口画出圆圈，再在圆圈内用ϕ3mm左右的钻头均匀打出一些小孔，用木刻刀修整平滑孔口沿后，作为扬声器B的释音孔。之后按照图5（f）所示，在释音孔左下方开出一个ϕ7mm的圆孔，并采用电烙铁加热热熔胶条的简便方法，用热熔胶粘贴上尺寸约ϕ7mm×15mm的一段黑色塑料管（盒外伸出约8mm），作为光敏电阻器RL的感光窗口。黑色塑料管可截自废旧圆珠笔的笔芯帽等，它可使得光敏电阻器RL只探测正前方光线变化，避免侧面光线的干扰和影响。实践证明，光敏电阻器RL在加装上黑色塑料管后，能够有效增强探测灵敏度。最后按照图5（h）所示，在盒子口沿上用美工刀切割一个能够通过电池架两根细引线的“V”形缺口。这样，焊装电路用的塑料安装盒就算加工好了。

最后，按照图6给出的流程图，进行电路机芯的焊装。焊接前注意电烙铁外壳一定要良好接地，以免交流感应电压击穿语音集成电路A内部的CMOS电路！具体做法：按照图6（a）所示，在印制电路板上焊接好元器件，并焊接出两根长约4cm的细电线。按照图6（b）所示，在语音集成电路A的芯片上焊接好电容器C2、电阻器R3和R4，并在语音集成电路A的两个输出端（即OUT1、OUT2脚）分别焊接上长度约7mm的元器件剪脚线，作为连接扬声器B的引线。注意电容器C2的正极引脚、电阻器R3接语音集成电路A触发端（即TG脚）的引脚线均不要剪掉，应保留图中所给出的长度，以便进行后面的焊接。按照图6（c）所示，在塑料安装盒内摆放好扬声器B、语音集成电路A和印制电路板。注意扬声器B应正对着塑料安装盒底部所开出的释音孔、印制电路板上的光敏电阻器RL应伸入作为感光窗口的黑色塑料管内，将印制电路板上与电池G负极相通的引出线头焊接在语音集成电路A芯片所接电容器C2的负极引脚线上，而电容器C2的正极引脚线则焊接在印制电路板上所剩的最后一个焊孔上（即与电池G正极相通的铜箔上）。印制电路板上的另外一根引线头（与晶体三极管VT集电极相通）应焊接在语音集成电路A芯片触发端TG所接电阻器R3的

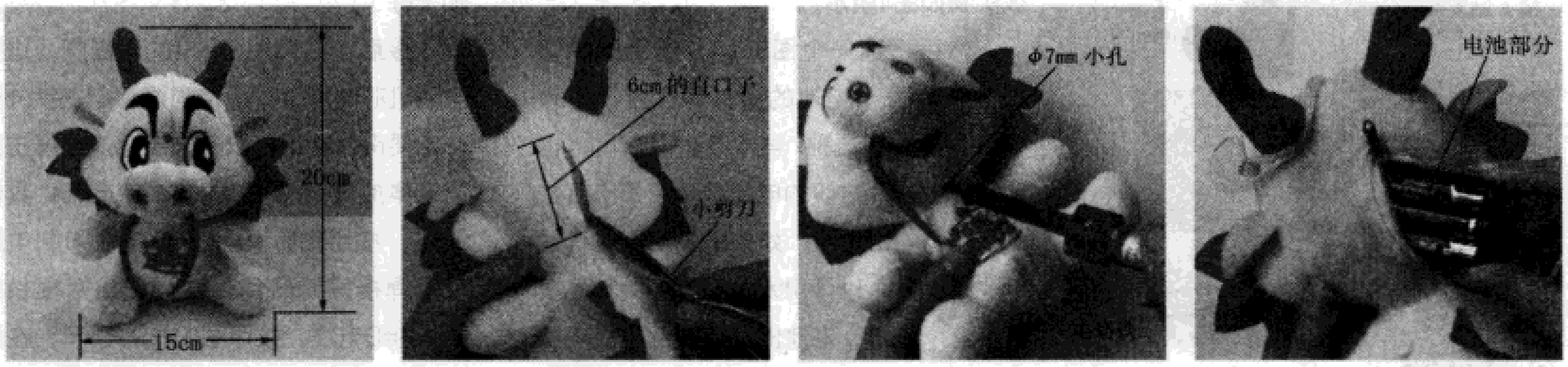


(a) 装上电池



(b) 移动手指

图7 检测机芯性能



(a) (b) (c) (d)

图8 组装会迎客的“小龙”

引脚线上。语音集成电路A芯片输出端所焊接的两根引线，直接就近焊接在扬声器B的两个接线端上。电池架通过自带的两根引线经“V”形缺口引出盒外。焊接好的盒内电路，可采用电烙铁加热热熔胶条的简便方法，在适当位置处进行粘固，如图6（d）所示。焊装好的电路机芯全貌如图6（e）所示。

◆ **第二步，检测并调试电路。**将焊装好的电路机芯按照图3给出的接线图与图6相关的实物照片反复对照，确认焊接无误后，按图7（a）所示，给4.5V塑料电池架装上3节7号干电池。并按照图7（b）所示，将电路盒上面的黑色感光窗口朝向外界光亮处，每用手指在感光窗口上方水平通过，则扬声器B均会发出一遍“您好！欢迎光临”的女中音声。如果无反应，应重点检查电池G是否接通、晶体三极管VT的引脚是否焊反、电阻器R1～R4的阻值是否焊混淆、扬声器B的音圈是否断路。如果确定无问题，说明语音集成电路A有故障，可更换一个试一下。一般情况下，只要按照图1所标出的参数正确选用元器件，并按照图3的接线图正确焊接好电路，不必进行任何调试，就可以获得满意的使用效果。

顺便指出：如果嫌语音声速度太快（或太慢），可通过适当增大（或减小）电阻器R4的阻值来加以调节。R4取值范围可以在300～470kΩ。R4阻值大，语音声频率低、音速慢，似男声，阻值小时，频率高、音速快，似女声。

第三步，进行组装。其主要工作是将焊装并检测好的电路机芯，装入市售毛布绒“小龙”的身体内。具体方法：首先，按照图8（a）所示，选购一个大小合适（高度以20cm左右、宽度以15cm左右为宜）、造型漂亮的毛布绒卡通“小龙”。并按照图8（b）所示，在“小龙”身体背部的适当位置处用小剪刀挑断合缝针线，开出长约6cm 的直口子。为了以后更换干电池方便，在开口处用针线缝上一条小尼龙拉链。小尼龙拉链可拆自旧衣服的口袋，也可从裁缝店购买，每条1元左右。笔者对什么都喜欢亲自动手，图示就是自己穿针引线缝好的小拉链，手艺还不错吧！

然后，将“小龙”头部的填充物（多为人造纤维棉）先取出来，并按照图8（c）所示，在“小龙”正面脖子部位用尖头电烙铁烫出一个ϕ7mm的小圆孔。要注意的是，烫口部位一定要避开绒布的合缝针线。

最后，将机芯电路的小盒由拉链口装入“小龙”体内，小盒上面的黑色感光窗口从“小龙”脖子处所开的小圆孔中伸出来，要求窗口基本上水平（可稍向下偏一些）正对着前方，而小盒上的释音孔应尽量靠向“小龙”嘴部的绒布，以便对外良好放音。接着在机芯电路小盒周围填充上一些人造纤维棉，并按照图8（d）所示，装入带干电池的塑料电池架，再用人造纤维棉填充满电池架周围的空间，拉合上小拉链。

至此，一个喜迎龙年、出自个人之手的独一无二的实用小制作终于大功告成！相信它的实用性、趣味性一定会得到大家的夸赞，也使你在龙年里学习电子技术的热情和劲头更加十足！

投入实际使用

实际使用时，将会迎客的“小龙”挂在客人所必经之路的门口，或摆放在顾客所经过的柜台上，要求其感光窗口朝向门口（或者窗口）的光亮方向。这样，一旦有人经过卡通“小龙”前方5m以内的地方，便会引发“小龙”发出响亮的“您好！欢迎光临”礼貌招呼语。

由于会迎客的“小龙”是依靠检测正前方环境光线突然变暗而触发工作的，所以在黑暗的环境中就会失去功能。如果要在夜晚正常使用，需在“小龙”的感光窗口（即光敏电阻器RL）的正前方安装普通照明电灯等稳定光源，用以取代自然光线进行探测。具体方案请读者自己动脑动手实践，这里不再赘述。

整个装置平时耗电甚微，实测静态总电流<120μA，发声时<120mA，用电很节省。每换一次新电池，一般可连续使用好长时间，家庭等客人比较稀少的地方，可持续使用达数个月之久。

面包板入门电子制作（3）

◇杜洋

“纸上谈兵”的电路

大家好！欢迎继续学习入门电子制作。在前面的文章中我们介绍了套件中的所有元器件，并通过一系列实验把每一个元器件的特性体现了出来。现在，大家一定迫不及待地想开始趣味电路的制作了，想象着自己也可以DIY出实用、有趣的电路，心里总是美滋滋的。可是要怎么给没有任何电路原理图知识的初学者准确无误地介绍电路呢，对我这个半路出家的“教学匠”来说，真是困难重重。为了能让后续的电路制作更准确、更顺利，我想单独用一篇文章来讲一下电路原理图的基础知识。我非常清楚大家都不喜欢听纯理论的知识，但是请相信这些知识并没有你想象的那么难懂。只要多花一点时间，多练习几次，自然就可以掌握电路原理图的观看方法和绘制技巧了。

电路原理图到底是什么呢？其实在很久以前电子电路出现的时候就有电路原理图了。大家都知道服装设计师在设计衣服的时候都会在纸上画草图，建筑师也会先把自己设计的房子以图纸的方式画下来。在房子开始制造之前，人们会在图纸上用线画出房子的模样，标出各种参数，比如房子大小、高度，墙的厚度，房间的布局，再经过反复讨论、修改之后才开始动手建造。这样做有几点好处：一是方便沟通，不论是谁看到图纸都会很快了解房子的构造和细节，不需要设计师一遍又一遍地给瓦匠、木匠、电工们解释，二是整合信息，图纸上包括了各种与房子制造有关的数据，不需要单独记录，而且单独记录也不容易关联，三是方便设计和修改，可能出现的问题都会先在图纸上解决。每一个设计行业都会有自己的图纸，在建筑界叫它“建筑蓝图”，在机械设计界叫它“CAD制图”，在电子技术界叫它“电路原理图”，简称“电路图”。其实很好理解，电路图是为了我们后面制作实物电路而服务的，我们在设计一个电路的时候都会先画电路图，然后再按照电路图来实施制作。我们后面教学中遇见更复杂的电路，大家只要看着电路图就可以轻松完成。你看，不懂电路图多可怕呀，所以“学好电路图、拯救全世界”的任务就交给你了。

一般的电路图由3部分组成——“元器件”、“连线”和“参数”。这3部分是相互关联的，有电路图一定得有元器件呀，如果全是导线不就成了织毛衣图了吗？各种元器件用导线连接在一起，形成了电路，就和我们前几期在面包板上做的事情一样。同时元器件上都标有不同的数值，比如电容有200μF的、100μF的，电阻也分100Ω、1kΩ的，我们还要在元器件上标清这些值，然后，一张热乎乎的电路图就完成了。下面举个实例，就是我们上期做过的一个电路，用电池点亮LED灯的电路（图1），我们看看电路图是怎么画的。

图1

元器件

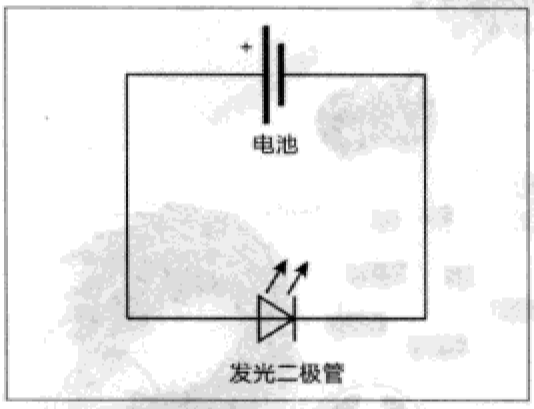


图2 电池点亮LED灯电路原理图

大家看到图2就是电池点亮LED灯的电路原理图了，图中上方一长一短两条粗线表示的是电池，图中下方一个三角形上边有两个箭头的是发光二极管。可以看出电路图上的符号和元器件实物长得并不像，我猜可能是因为发明电路图的家伙并没有绘画天赋，所以图标就只能是简单的几何图形了，这样也好，画着简单，看起来也容易。只是需要花点时间认识一下每种元器件的图标都长什么样子。在《面包板入门电子制作》的套件中有几十种元器件，它们在电路图中都长什么样子呢？让我们来看看吧。

首先我们看到的是电阻，电阻常用的有2种画法，方形的画法是国内的标准画法，波浪线的是国外的画法。但在技术全球化的今天，区分国内外已经没有什么意思了。两种画法大家喜欢哪种就画哪种吧，我个人推荐方形的画法，画起来好看。其实电路图中的元器件画法与实物并不是毫无关联的，大家可以发现，方形的电阻画法和实物的电阻长的很像，就好像象形文字一样。而大家现在知道了，电阻是起到阻碍电流的作用，从原理上看就是加长了导线的长度，因为导线越长，导线本身的电阻值就越大（导线其实也是有电阻的哦）。方形画法更贴近电阻的外观，波浪线画法更贴近电阻的原理结构。不管怎么样，了解一下元器件的画法是怎么来的，可以帮助我们更好的记忆，这才是关键。

电容的画法也有好几种，常用的有2种。一种是通用的电容画法，另一种是电解电容的画法。电容的内部结构就是2片相邻但不接触的金属片，至于为什么这样的结构可以储存电能，我们以后再说。现在我们看看电容的符号，是不是像2片相邻但不接触的金属片呢，看来电容也是原理结构画法。所谓的电解电容也就是有正负极标志的电容，也就是套件中圆柱形的电容。这样的电容要用电解电容的图标表示，正确地标出“+”的连接位置。还有一些电路图中画的是通用电容图标，但也可以使用电解电容。电容图标没有“+”号的表示对电容的极性没有要求，标出“+”号的一定要按正确的极性制作电路，不然会引起电解电容爆炸。这可不是开玩笑的哦，嘿嘿，当然了，用我们的学习套件是安全的，纽扣电池的电量很小，没有任何危险，请大家放心。

三极管也有2种画法，2种画法都是常用的，它们分别表示了三极管的性能差别。拿出套件里的三极管，看看上面的型号，9012和8550是对应一种叫PNP型三极管的画法。9013和8050是对应一种叫NPN型三极管的画法。这个不太好记忆，没关系，以后我们讲得多了自然就记住了。细心的朋友会发现，2种三极管的画法大体一样，只是其中一个箭头向内，另一个的箭头向外，这就是PNP和NPN的区别。为什么会有这样的区别呢，下一期我会用实验告诉你。

无锁按键也就是套件里的微动开关。微动开关的图标和实物并不像，看来还是原理结构类的图标。图标上有2个圆点，表示的是金属接触点，每个接触点都与引出脚连接。接触点上方有一个倒T形的东西代表的是按键帽，意思就是我们用手按下按键帽，就可以通过它把2个金属接触点连接在一起，形成电路通路。当我们手放开时，按键帽上弹，电路断开。这么解释是不是很形象呀，电路图设计者们巧妙的设计，一定用了不少的心思。

二极管和发光二极管，它们本是一家人，只因为发光二极管可以发光，就被人们重用了，制作成各种外形、各种颜色，用在显示屏、照明灯上面，而不会发光的普通二极管就只能默默地隐藏在电路板中了。来看一下普通二极管和发光二极管在图标上的区别吧，好像发光二极管在普通二极管的基础上多了2个小箭头，没错，

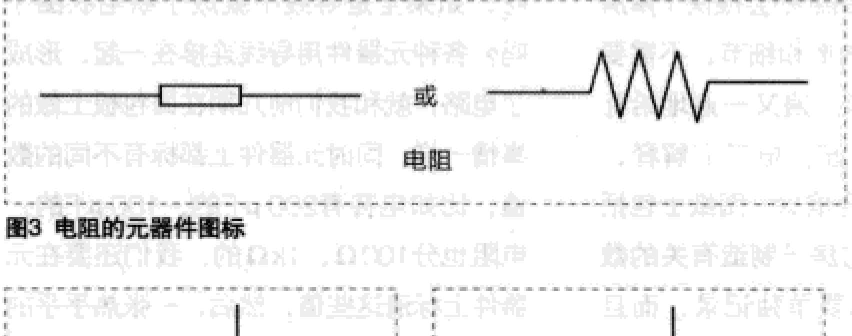


图3 电阻的元器件图标

图4 电容的元器件图标

图5 三极管的元器件图标

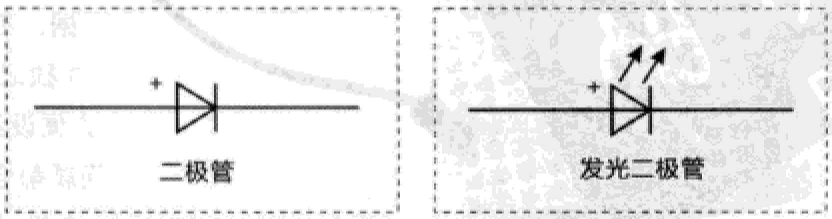


图7 二极管的元器件图标

图6 无锁按键的元器件图标

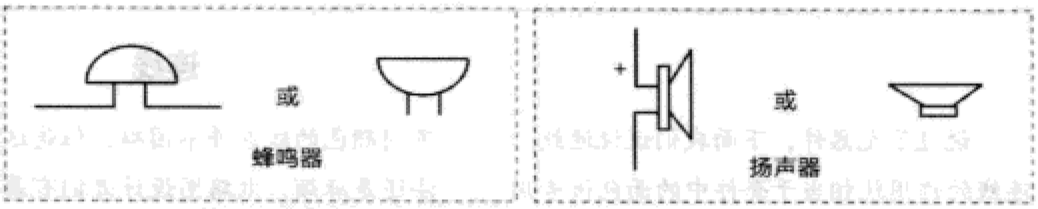


图8 蜂鸣器和扬声器的元器件图标

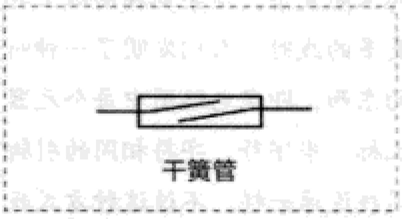


图9 干簧管的元器件图标

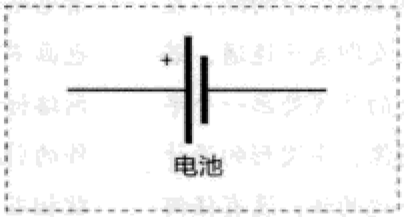


图10 电池的元器件图标

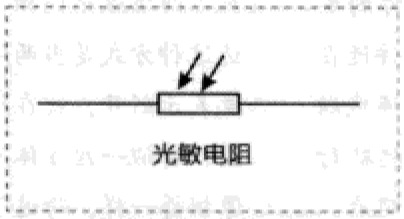


图11 光敏电阻的元器件图标

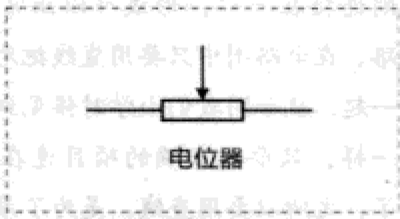


图12 电位器的元器件图标

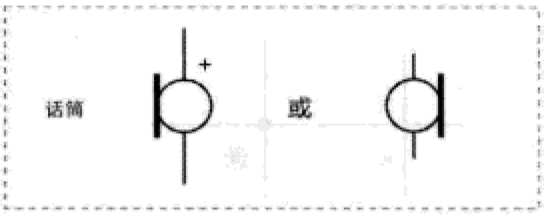


图13 话筒的元器件图标

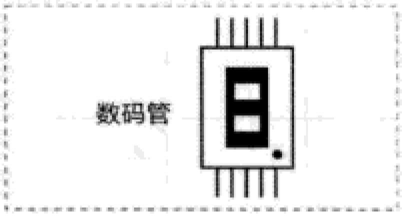


图14 数码管的元器件图标

图15 热敏电阻的元器件图标

这2个箭头就代表“光”，即在二极管上通过电流的同时会发光。二极管的特点是具有单向导电性，即电流只能从正极流向负极，反之就会被阻止。二极管的画法正是运用了这个特点，图标上有一个三角形的箭头指向负极的一边，表示电流只能往这个方向流（从正极到负极）；而在三角形的箭头前有一条竖线，表示着电流反向流动（从负极到正极）是被阻止的。太巧妙的图标了，我真的忍不住想赞美它呀。

蜂鸣器和扬声器虽然都是发声的元器件，可是画法却差很多。蜂鸣器是接上电源就可以发出声音的，所以它的外观是一个半圆形，更像一个报警器。而扬声器其实就是我们常见的音响里用的喇叭，是需要音源和功放电路的驱动才可发出声音的，后面我会讲到如何制作音源和功放电路。扬声器的图标长得非常像音响里喇叭，应该属于外观画法，蜂鸣器则应该属于抽象派的画法了。

干簧管的实物就是一个玻璃管中间有2条铁片，电路图中的图标算是外观画法。这个没有什么可说的了。

几乎每一个电路中都有电池的使用，电池的画法只有一种，一长一短2条竖线，长的表示正极，短的表示负极。大家看到电池的图标，是不是会联想到电容的图标呢？如果没有，说明你没有认真看文章了啦。电容图标也是两条竖线，竖线长度是相等的。电池和电容在性能上有类似之处，它们都有储存电能的特性，所以图标相似是理所应当的。只是电池和电容相比具有很长久的放电能力，可能是因为这样，电池图标正极一端的竖线才会长出一段来。不管怎么样，电池的图标很简单、好画，也好记忆。

前面我有说过2个箭头代表的是“光”，那么现在我们看到的光敏电阻中的箭头也是光的使者。与发光二极管的区别是，光敏电阻图标上的箭头是向内的，意思是接收光线；发光二极管的箭头是向外的，表示发出光线。只要解释到这里就够了，上边2个表示接收光线的箭头，下边一个电阻，合在一起就是“光敏的电阻”了。

其实电位器就是可以调节阻值的电阻。在电位器实物上有一个可以调节的旋钮，用来调整电阻值的，而在电位器的图标上也有这个部分的体现。大家可以看到，电位器的图标只是在电阻图标的上边加了一个垂直向下的箭头，是不是很像光敏电阻呢？但这个箭头是垂直的，表示的是一个可调的接触点，箭头部分也算是一根引脚。我们需要动用一下想象力，假想这个箭头可以在电阻图标上左右滑动。当箭头滑向左边时，左边引脚和箭头引脚之间的电阻值就变小了，因为距离变短了嘛，同时，右边引脚和箭头引脚的电阻就变大，这么一来可以看出，电位器的图标既有电阻的外观画法，又有滑动变阻的原理结构画法，算是杂交混合形的新画法。

话筒的图标完全是外观的画法，因为话筒的原理很复杂，如果使用原理结构的画法不仅麻烦，而且难理解。图标中的圆形表示的是话筒的外形，旁边的竖线表示接受声音的振膜。有一些话筒是有正负极区分的，在看电路图时要注意，极性不要弄错。

数码管也是外观画法，而且非常直观，一点艺术创造的成分都没有，不过也好，一目了然。

热敏电阻的图标也很好玩，还是一个电阻图标加一根冰球球杆。我们把这根类似球杆的东西想象成一根铁条，它斜插入了电阻的身体里，这根铁条相当于热量的传导器，把外部环境中的热量通过铁条导到电阻的内部，使得电阻内部的阻值发生变化，从而实现了热敏的效果。不过呢，在热敏电阻的实物上并没有我说的什么铁条，它只是一个光溜溜的玻璃管，那根“铁条”只出现在我们的想象世界里。

连线

说过了元器件，下面我们说说连线。连线的作用就相当于套件中的面包板专用线，通过它把各种元器件按一定的电路规则连接在一起，形成可以正常工作的电路。在电路图中只要用直线把元器件连在一起，就如同我们小学时候见到的连线题一样，只要把正确的项目连在一起就行了，之所以要用直线，是为了方便观看。画线大家都会，没什么可讲的，但有一点值得注意，当两条线相交的时候，是表示这两条线是联通的还是断开的呢？大家可能会认为这很好解决呀，只要用不同颜色的线表示断开，用相同颜色的线表示联通不就行了，就像五彩缤纷的面包板专用线一样。这样的方法是可以的，在纸上画出不同颜色的线也并不困难，但是这样的方法还是麻烦，电路图设计者们有着更好的解决方案。按照他们的规定，有2种方式可以解决这个问题。请看图16中的线，左边这种方式是当两线相交即表示连通，若要表示断开，就在相交的位置处画一个半圆，看似一幅立体的图像，半圆形的设计像拱桥一样，跨过了下边的线，没有任何瓜葛。还有一种方式是把相交的两条线视为断开的，如果想表示连通，就在相交的位置上画一个圆点。通常在国内的电路图绘制中多采用画圆点表示连通的方式。随着电路图越来越复杂，复杂到在图纸上再也画不下更多的线时，人们发明了一种叫网络标号的东西，即在电路图中每个元器件的引脚上标一串字符，字符相同的引脚就相当于用线连通一样。不过这种方式我们还用不到，仅作为课外知识点。

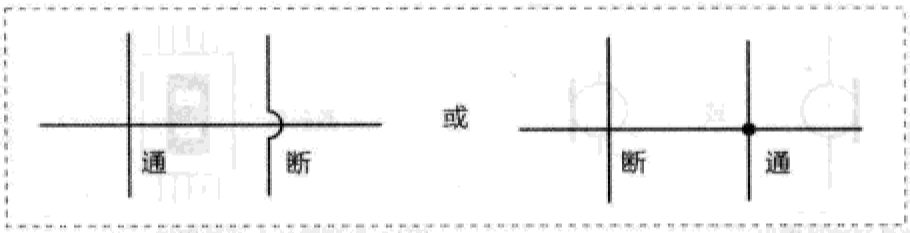


图16 连线的图标表示

参数

电路图上有了元器件，各元器件又用线连接起来，看上去应该是圆满了。其实我们离成功还差一步，那就是参数，元器件的参数。参数就是指在电路图中各元器件所应有的标准电气数据，比如电阻的阻值、电容的容值以及电池的电压等。通常需要在每个元器件上标出的参数有1到4种不等，必要时还会加一些纯文字的备注。加参数的目的就是可以让看图者正确无误地按图完成制作，只要达到这个目的，参数怎么标都可以，没有一定之规。比如电池这个东西的参数有电压值、容量、最大输出功率、型号和类型等参数，但我们通常只标出电池电压。电阻的参数有电阻值、误差精度、功率、封装以及类型等，我们通常只标出电阻值和功率，必要时会标出误差精度和封装。所以在你画好元器件和连线之后，一定要更认真地加上参数，如果参数没有标好，就会使别人无法按图制作，或者制作错误。在国内的大部分网站上发布的电路图都是有问题的，主要是因为大家对参数的标注并没有太重视。在他们看来，电路连接没有问题就可以了，可这是多么低的标准呀。我想既然学会了电路图，就要把它做好，做不到精致，至少也要合格。希望大家可以养成认真绘图的好习惯，也许你小小的认真，可以帮助更多的后来者入门呢。

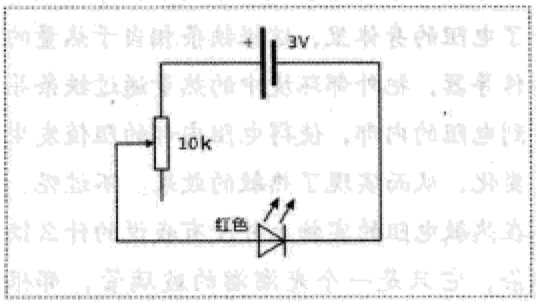
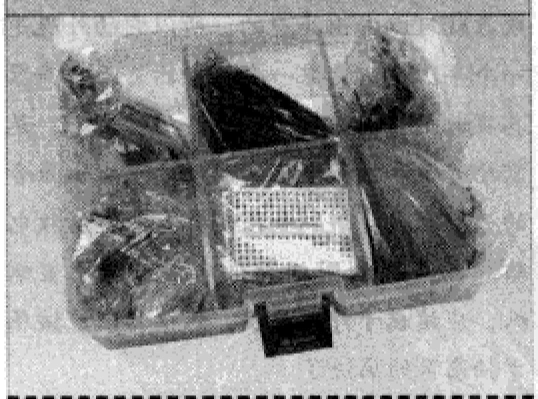


图17 电位器调整LED灯亮度

在这里我给出一张用电位器调整LED灯亮度的电路图，这就是一张完整的图纸了，各元器件正确连接，参数简洁、清晰。其中LED上面标出“红色”则表示LED的颜色，如果没有标颜色参数，就说明对LED颜色没有要求。电位器只标出阻值是10kΩ，其他参数没有标，表示并不重要，只要阻值正确就OK。电路图的知识大体上就是这些，我就不再举更多的实例了，因为从现在开始我们会大量地接触电路图，日久可以生情，情可以生熟，熟又能生巧。先去看看杂志上其他文章中的电路图吧，看看它们都是什么画法，又有哪些技巧。本文就到这里，我们下文再续。

《面包板入门电子制作》盒装套件
148元/套+15元（邮费）



包括一盒元器件、教学文章和不断更新的高清教学视频文件。助你轻松入门电子技术基础，并可独立设计电路。

详细邮购方法见淘宝店boqu.taobao.com。

◇薛加民　◇插画：某某银

1880年2月的一天，美国首都华盛顿，天寒地冻，万里无云，是冬天里难得的一个大晴天。大街上熙熙攘攘，没有人注意到街边一栋小楼顶上，一个中年男子站在一台奇怪的机器面前，手舞足蹈地说着话。200多米以外的另一栋小楼顶上，一个年轻人同样站在一台类似的机器面前，也在兴奋地说着。他们面对着彼此，指手画脚，似乎在聊天。但是这么远的距离能听到彼此吗？几天后，《纽约时报》等各大报纸都刊登了一条消息，电话的发明者Alexander Bell（贝尔）博士和助手Charles Tainter先生的最新发明——用阳光传递声音的机器！

这便是世界上第一个无线通信设备Photophone（光电话）的诞生。贝尔认为这是他一生中最重要的工作，他是如此中意这项发明，甚至想把自己将要诞生的女儿命名为“Photophone”（被妻子及时制止了）。然而Photophone并没有像贝尔几年前发明的电话那样广泛流行。人们总不能天一黑就不能打“光”电话了吧！这项超越时代的发明渐渐被人遗忘。它仅仅短暂地出现在二次世界大战的战场上，被用做战舰之间传递信息的工具——因为它不像无线电波那样容易被人截获。直到借助20世纪60年代激光的发明，20世纪70年代光纤的进展，贝尔Photophone的基本原理被发扬光大，形成了高流量、低成本、远距离的现代光纤通信技术。毫无疑问，当今世界的运转已经离不开那一根根埋在泥土底下和大洋深处的光纤了。贝尔泉下有知，当会为自己的高瞻远瞩而欣慰。

解密激光传声

在这篇小文中，笔者用便宜的红色激光二极管代替当年的阳光，重复贝尔用光线传递声音的实验。相信通过制作，读者也能体会到贝尔当年的激动。

让我们首先来了解贝尔光线传声装置的原理

图1和图2生动地描述了贝尔光线传声的原理。在发射端，明媚的阳光（近似平行光线）通过透镜后变成发散的光线，落到一个话筒上，它是一个圆筒，末端装着一面很薄的镜子。对着话筒说话产生的空气振动能够让镜子微小地改变形状，随着声波的频率，时而变成凹面镜，时而变成凸面镜。这样它反射的光，时而是平行光，时而是发散光。在接收端，一个抛物面形的反射镜用来接收发射端送来的光线。平行光束几乎完全能被反射镜接收到，而发散光束经过长距离传输后，散得比较开，只有一部分光被反射镜接收。这些光通过反射镜汇聚到焦点上，那里放着一块晶体硒，其作用类似于现在的光敏电阻，电阻值会随着光照强度而变化。如果在它两端接上电池，这样光的强弱信号就被转化成了电流的强弱信号，从而推动扬声器发声，完成了从声到光，从光到电，从电到声的转换过程。

图1　发射端，将声波转换成强弱变化的光信号（重绘自英文维基百科photophone词条）

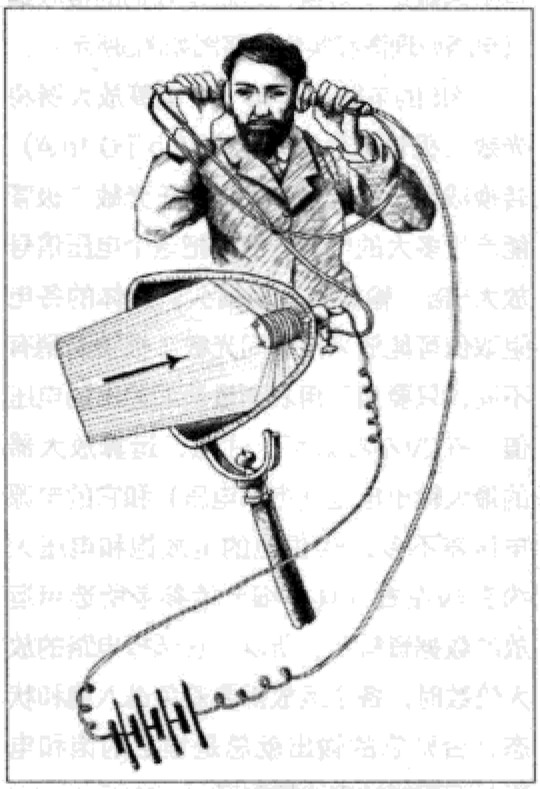


图2　接收端，将强弱变化的光线转换成电信号，驱动扬声器发声（重绘自英文维基百科photophone词条）

现代光纤通信

现代光纤通信的基本原理与贝尔当年的发明类似（见图3）。

从图3可见，由于技术的进步，发射端的太阳光已被激光取代，但是基本原理仍然是对光的幅度进行调制。接收端的硒晶体也换成了光敏二极管，一种更好的光电传感器。而光纤的引入则是贝

尔当年所没有预料到的革命性的进步，使得载有数字信号的光线可以远距离、低损耗地向任意方向传输。“光纤之父”华裔物理学家高锟因此获得了2009年的诺贝尔物理学奖。

自制激光传声电路

我们将要制作的激光传声器是这样工作的：

激光二极管（一般的红色激光笔里面就是一个激光二极管）发光的强弱可以

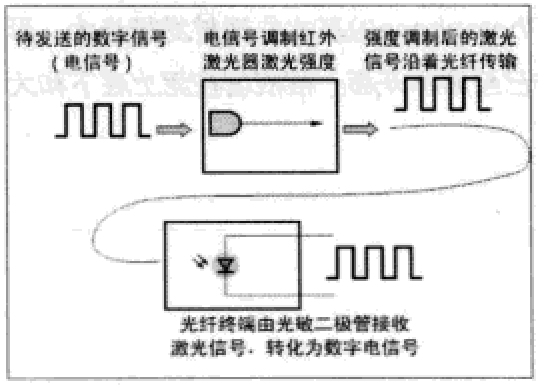
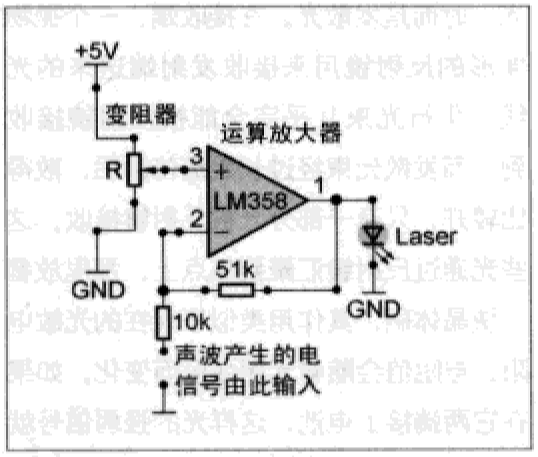
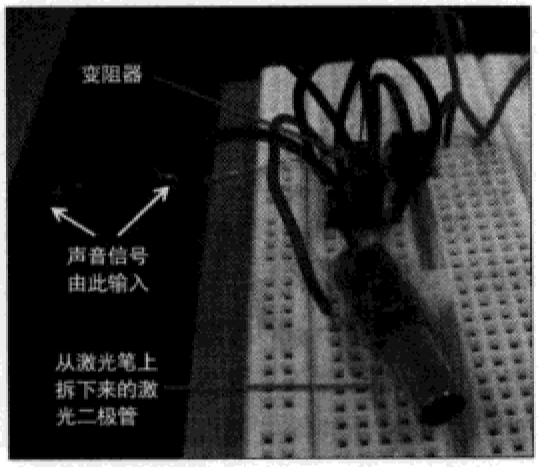


图3 光纤通信示意图



(A)



(B)

图4 发射端实物图

由加在它两端的电压决定。而电脑上耳机插孔里输出的是一个随声波振荡的电压信号。如果我们把这个电压信号加到激光二极管两端，那么激光的强弱就会随声波信号振荡了。这就是我们的发射端（电路原理图和实物电路图如图4所示）。

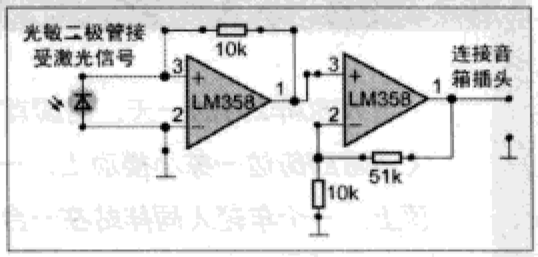
在图4的电路中，变阻器（可选200kΩ）设定激光器的基本工作电压，一般在2~4V的激光器都能发光，所以在输入声波电信号为零时，可以设定激光器两端的电压为3V。这样声波信号就能使得激光器两端电压在2~4V波动，从而控制激光亮度。注意，在把激光器连在电路中前，最好用万用表测量一下输出电压，以防过高，烧毁激光二极管。

电路对输入的声波电信号进行了放大，放大系数为两个电阻之比，51kΩ/10kΩ = 5.1倍。笔者测量到从电脑耳机插孔出来的电压大概在0.2V左右，放大5倍以后，正好能调制激光器两端的电压在2~4V之间波动。

要把这个强弱振荡的激光信号转换成声音，在远处播放出来，只需要先把它转换成电压信号，然后再送到音箱放大输出。我们可以用一个光敏二极管或者光敏电阻来做这个转换，这就是我们的接收端（电路原理图和实物电路图如图5所示）。

图5的电路中，第一个运算放大器将光敏二极管产生的光电流（小于0.1mA）转换成电压，电阻多大取决于光敏二极管能产生多大的电流。然后把这个电压信号放大5倍，输出到音箱插头。具体的各电阻取值可能随采用不同光敏二极管而稍有不同，只要用万用表测量最后输出的电压值，在2V左右即可。注意，运算放大器的最大输出电压（饱和电压）和它的电源电压差不多，5V供电的运放饱和电压大约在4V左右（具体细节请参考所选用运放的数据资料）。所以，在选择电路的放大倍数时，各个运放都要避免进入饱和状态，否则它的输出就总是恒定的饱和电压，而不能被声波控制了。

整个制作所需材料也很简单。关



(A)

(B)

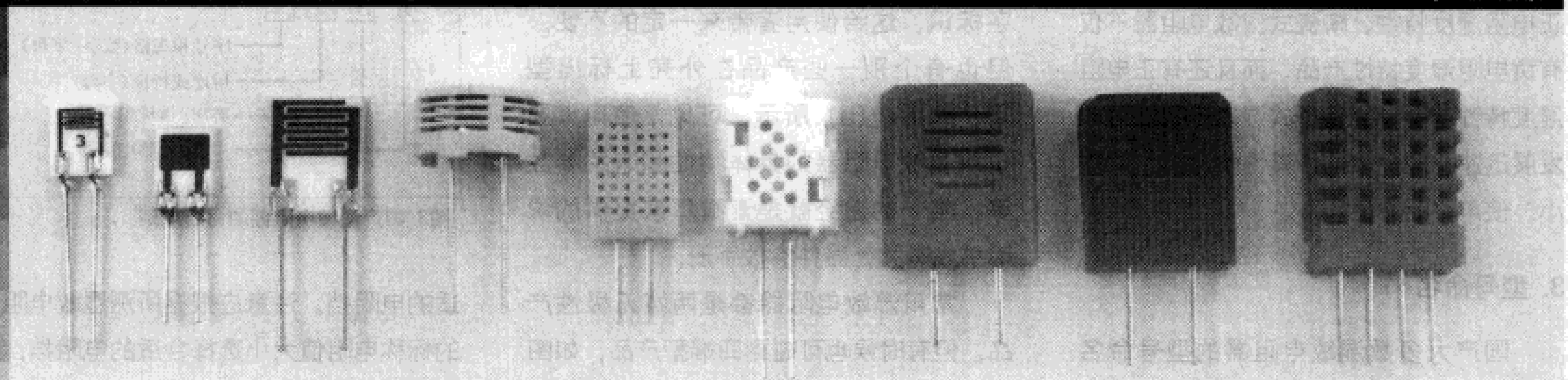
图5 接收端实物图

键的部件有两个，一个是红色激光二极管，网上有很便宜的出售（笔者所用的是从一支廉价的红色激光笔上拆下来的），一个是光敏二极管。注意，在网上直接搜索“光敏二极管”得到的产品大多是对红外敏感的光敏二极管，状如LED，这不是我们所需要的类型。我们需要对可见光，尤其是650nm左右波长的红光敏感的二极管，有些卖家称之为“硅光电二极管”（见图5中的实物）。它的金属封装里其实就是一块小小的太阳能电池，价格稍贵。读者买一小块太阳能电池代替也能用，而且价格便宜不少。电路连接完毕以后，笔者用它试着将电脑播放的歌曲用激光“无线”传递到音箱（视频请参见我的博客http://blog.sina.com.cn/fermiustc），当它工作时，笔者体会到了贝尔当年的喜悦之情。相信喜欢动手的读者也能得到这份喜悦！

注：笔者感谢英文维基百科关于贝尔photophone的有趣描述。

常用元器件的识别与使用（30）

◇张晓东



本领奇特的湿敏电阻器

通常，人们将大气中水蒸气的含量以及某些物质中所含水分的多少笼统称为湿度。湿度和温度一样，与人们的生产活动和日常生活密切相关，测量和控制湿度有时候显得非常重要。

湿敏电阻器作为一种应用最广泛的湿度传感器，其电阻值对湿度的变化极为敏感，当环境相对湿度（RH）变化时其阻值也会随之变化。湿敏电阻器种类较多、形状各异，已被广泛应用于各种湿度测量和控制系统之中。生活中常用的电子湿度计、洗衣机里用到的高湿度检测元件、录像机里用到的结露传感器等，一般都是用湿敏电阻器作为传感器的。

湿敏电阻器的主要特点是对空气湿度变化反应灵敏、结构简单、体积小、使用简便，它具有灵活多样的外形和不同的功能，广泛应用在各种电子、电气设备中。下面向初学者介绍常用湿敏电阻器的识别与使用方法。

如何识别湿敏电阻器

1. 结构及特点

湿敏电阻器是利用湿敏材料能够吸收空气中的水分并导致其电阻值发生变化这一特性而制成的。普通湿敏电阻器由基体（具有一定机械强度的绝缘材料）、吸湿材料和电极构成（有的还加有防尘保护外壳），其基本结构如图1所示。基体采用氧化铝、陶瓷、聚碳酸脂板等不吸水、耐高温的材料制成，形状可以是方片状或圆柱状。吸湿材料附着在基体上，形成感湿层，其特点为微孔型结构，且多具有电解质特性。当感湿层吸附了空气中的水分后，其微粒间接触电阻会发生改变，具有电解质特性的感湿层还会形成含有正、负离子的水溶液并参与导电，从而使对应两电极之间的阻值发生变化，实现由相对湿度变化到阻值变化的转换。

湿敏电阻器所用吸湿材料不同，其电阻值变化可以随湿度增大而增大（称正电阻湿度特性），也可以随湿度增大而减小（称负电阻湿度特性）。

2. 外形及分类

常见湿敏电阻器几乎全部都是两端无极性元件，其种类按外观不同划分，有图2所示的无外壳型（即裸片状）和塑料外壳型（即加有防尘保护罩）两大类。外壳型实际上是将片状湿敏电阻器装入一个多孔型塑料（或金属）外壳内，既保护湿敏电阻器不受外力损伤，又具有一定的防尘作用。无外壳型产品除了图中所示的最常见长方形片状外，还有不常见的圆片形、圆柱形产品。

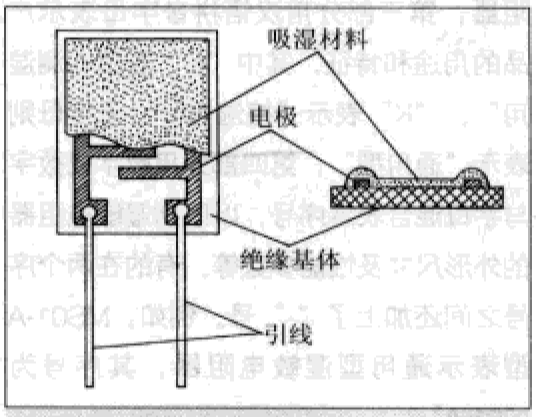


图1 湿敏电阻器的基本结构

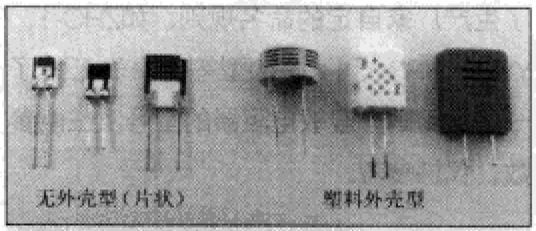


图2 常用湿敏电阻器实物

如果按湿敏电阻器所用吸湿材料的不同划分，常用的产品有电解质式湿敏电阻器、碳膜湿敏电阻器、陶瓷式湿敏电阻器、高分子式湿敏电阻器等。电解质式湿敏电阻器的典型产品是氯化锂湿敏电阻器，已有50年以上的生产和研究历史，应用很普遍。碳膜湿敏电阻器是将石墨渗在具有溶胀特性的高分子材料中制成，其

特点是电阻值随湿度的增加而变大，具有正电阻湿度特性。陶瓷式湿敏电阻器不仅有负电阻湿度特性产品，而且还有正电阻湿度特性产品。高分子式湿敏电阻器目前发展迅速、应用较广，其性价比高、体积小、使用灵活方便。

3. 型号命名

国产大多数湿敏电阻器的型号命名遵循了敏感电阻器（包括光敏电阻器、压敏电阻器、热敏电阻器、气敏电阻器、力敏电阻器和磁敏电阻器等）的统一命名规则，其型号一般由四部分组成，格式和含义如图3所示。第一部分用汉语拼音字母“M”表示“敏感电阻器”，第二部分用汉语拼音字母“S”表示湿敏电阻器，第三部分用汉语拼音字母表示产品的用途和特征，其中“C”表示“测湿用”、“K”表示“控湿用”，无字母则表示“通用型”，第四部分用数字或数字与字母混合表示序号，以区别湿敏电阻器的外形尺寸及性能参数等，有的在两个序号之间还加上了“-”号。例如：MS01-A型表示通用型湿敏电阻器，其序号为“01-A”。

还有一些湿敏电阻器的型号命名采用了生产厂家自定的命名规则，如ZHC-1、YSH、HR31、HDS10型等。附表汇集了一些常用国产湿敏电阻器的型号及性能参数，仅供参考。

4. 产品标识

常用湿敏电阻器从外表来看，无外乎有图4（a）所示的裸片状（无外壳）和加防护罩（有外壳）两大类型。防护罩多为塑料外壳（也有金属外壳），形状大多为方形，但也有圆形产品。由于湿敏电阻器的外形跟其他元器件有着较为明显的区别，所以看外观大体上就能一眼识别出来。

大多数湿敏电阻器的体积都比较小，在外壳上打印型号等参数有困难，加上湿敏电阻器的型号品种不是很多等原因，常见产品几乎都看不到任何的文字标识，这给使用者带来一定的不便。但也有个别一些产品在外壳上标出型号，如图4（a）所示。可见，使用者要了解湿敏电阻器的具体特性和有关参数等，唯一的途经就是查看厂家提供的说明书或有关元器件参数手册。

常用湿敏电阻器都是两端无极性产品，但有时候也可碰到四端型产品，如图4（c）所示。四端型产品主要为带有一对加热电极的特殊湿敏电阻器，或者是“一体化”湿度/温度传感器（即将湿敏电阻器和热敏电阻器装入同一个外壳内，其各自的两个引脚分别引出）。图中示例即为四引脚的湿度/温度传感器。

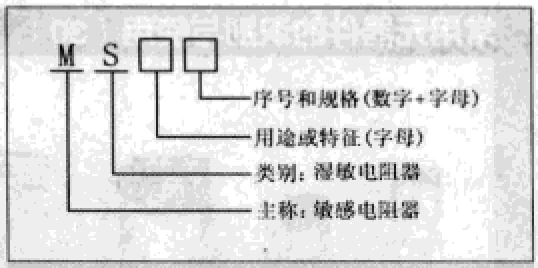


图3 国产湿敏电阻器的命名规则

如何使用湿敏电阻器

1. 简易测试方法

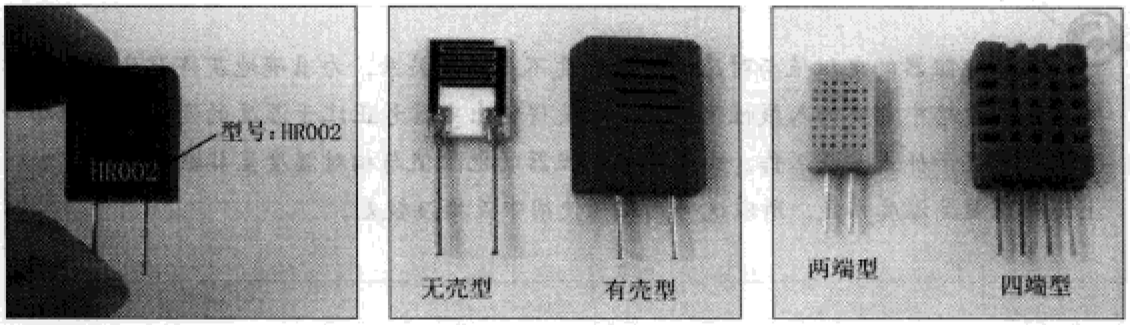
业余条件下，通过直观查看来衡量湿敏电阻器品质的标准是：外观应光滑平整、无破损，引脚应牢固可靠。除此以外，借助普通万用表可进行下面简单的检测。

（1）判断好坏。按照图5（a）所示，在室内环境温度和湿度下，将普通MF50型指针式万用表（或其他万用表）拨至合适的电阻挡。注意应根据所测湿敏电阻器的标称电阻值大小选择合适的电阻挡，多数情况下选“R×1kΩ”电阻挡即可。接下来，将万用表的红、黑表笔不分极性接所测湿敏电阻器的一对引脚，并读出万用表指针读数。正常情况下，该读数应与湿敏电阻器的标称阻值一致或接近。若读数与被测湿敏电阻器标称阻值偏差过大，说明湿敏电阻器性能变差或已损坏。若万用表读数为0Ω，说明湿敏电阻器内部已短路损坏，若万用表读数为∞（表针不动），则说明湿敏电阻器内部已开路损坏。

测量时注意，多数情况下万用表测得的电阻值与厂家提供的湿敏电阻器的标称电阻值并不完全相同。这是因为标称电阻值都是在规定的温度（20℃或25℃）和相对湿度条件下测得的，而用万用表在室内环境条件下测量时，肯定会不可避免地产生一定差异。另外，对于不允许在直流

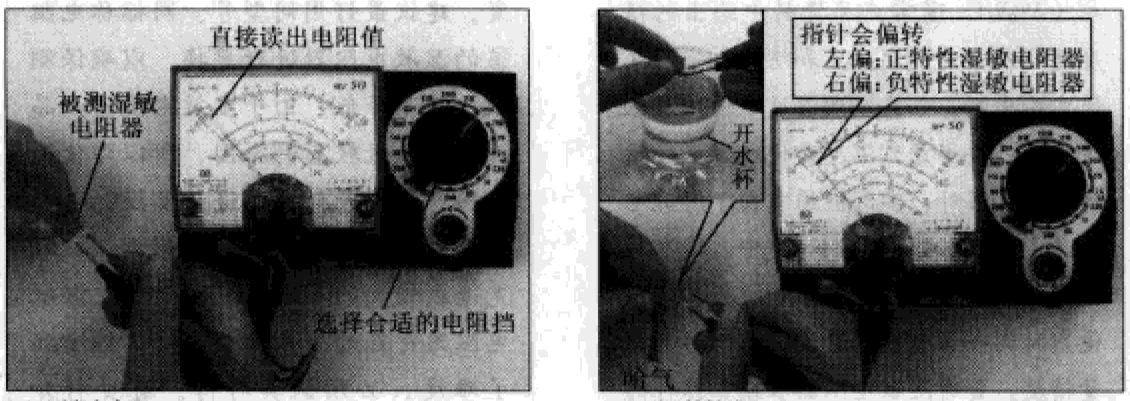
附表　常用国产湿敏电阻器的性能参数

型号	测湿范围（%RH）	20°C时标称阻值（kΩ）			工作环境温度（°C）	湿度温度系数（%RH/°C）	响应时间（s）	工作电压（V）
		50%RH	70%RH	90%RH				
MS01-A	20～98	340	40	5.1	0～40	-0.1	<5	AC:4～12
MS01-B1		200	25	3				
MS01-B2		300	35	4.4				
MS01-B3		400	50	6				
MS04	30～90	≤200		<10	0～50			AC:5～10
MST-1	50～98	1～5	5～10	10～30	0～40	-0.4	≤2	DC:0.15～1
ZHC-1 ZHC-2	5～99	650	170	44	-10～90	-0.1	<5	AC:1～6
YSH	5～100	<1000		<2	-30～80	0.5		
BTS-208	0～100				-30～150	0.12	<60	AC:20
CM8-A	10～98				-35～100	<0.12	<10	AC:1～5
RSG-2	30～95	3000	100	10	0～40			
HC23	≤95	66	11.5	2.9	-20～70			AC:1
HR23 HR31 HR202	20～95	115	15.5	3.3	0～60		吸湿≤20，脱湿≤40	AC:1.5
HDS10	94～100		10		1～80		<5	DC:0.8



(a) 看外形　(b) 看标志　(c) 看引脚

图4 湿敏电阻器的识别



(a) 测常态电阻　(b) 测湿敏性能

图5 湿敏电阻器的检测

电压下工作的湿敏电阻器，在测量时应避免使用“R×10kΩ”电阻挡（内部15V或9V电池供电），并尽量避免在高湿度环境下测量，以最低限度减小测试电流在通过感湿层时所形成的电泳效应，避免造成被测湿敏电阻器的阻值发生漂移。

（2）检测性能。在上述检测的基础上，按照图5（b）所示，一边用嘴对着被测湿敏电阻器感湿层或窗口连哈几口气（增加湿度），或者将被测湿敏电阻器感湿层或窗口朝下，并置于开水杯热汽的上方，一边观察万用表指针读数是否发生变化。若万用表指针读数变化显著，说明湿敏电阻器性能良好，若万用表指针读数变化不明显或几乎不变化，说明湿敏电阻器性能不良或已失效。

这一检测过程还可以判断出被测湿敏电阻器的类型：若测试时万用表指针读数逐渐变大，说明被测湿敏电阻器是正电阻湿度特性产品，若测试时万用表指针读数逐渐变小，说明被测湿敏电阻器是负电阻湿度特性产品。

2. 使用常识

合理正确地选择和使用湿敏电阻器至关重要，下面就向使用者介绍一些必须要掌握的最基本、最有用的知识和技能。

❶ 选用湿敏电阻器时，首先应根据应用电路的特点和要求，确定选择合适的产品类型。例如，在洗衣机、干衣机等家电中作高湿度检测时，可选用氯化锂湿敏电阻器、碳膜湿敏电阻器等；在空调器、恒湿机等家电中做中等湿度环境的检测时，可选用陶瓷湿敏电阻器；若用于气象监测、录像机结露等方面的检测时，可选用高分子聚合物湿敏电阻器、硅湿敏电阻器或硒膜湿敏电阻器等。其次，应保证所选用湿敏电阻器的主要参数（包括测湿范围、标称阻值、工作电压、测湿精度、响应速度等）符合应用电路的要求。

❷ 普通湿敏电阻器多要求工作在交流供电（如正弦波、方波或三角波等）回路中。若用直流电压或有直流分量的交流电压供电，会引起金属氧化物陶瓷、高分子聚合物和氯化锂等湿敏材料产生电解或电极材料发生游离现象，导致其结构改变，湿敏特性变劣。但应注意，在采用交流电供电时，电源频率不可过高，否则由湿敏电阻器固有电容形成的容抗将变小，会影响测湿灵敏度和准确性。一般在使湿敏材料不产生正、负离子积聚的前提下，应使电源频率尽可能低些。对于离子导电型湿敏电阻器，所用电源频率一般以1kHz为宜；对于电子导电型湿敏电阻器，电源频率应低于50Hz。另外，有些要求在交流电压下工作的湿敏电阻器，当工作在低电压条件下时，可允许采用直流电供电。

❸ 湿敏电阻器除对环境湿度敏感外，对环境温度也十分敏感。普通湿敏电阻器的湿度温度系数一般在0.1%RH/℃～0.8%RH/℃范围内，并且有的产品在不同的相对湿度下，这一系数又有较大差别。为了减小温度对湿敏电阻器的影响，在测湿精度要求比较高且测湿环境温度变化比较大的情况下，必须在测量电路中采取温度补偿措施，或在便利情况下采用计算机软件进行温度补偿。由于湿敏电阻器的湿度温度系数一般有正负、大小之分，所以在采用温度补偿措施时应区别对待。对于正湿度温度系数的湿敏电阻器，最简便的方法是在其两端并联一个同阻值的负温度系数的热敏电阻器；对于负湿度温度系数的湿敏电阻器，可在其两端并联上一个同阻值的正温度系数的热敏电阻器。如果所用湿敏电阻器的湿度温度系数较小且对测量精度要求不是很高，则可不必考虑采用温度补偿措施。

4 专门用于检测空气中水蒸汽是否将要结露的湿敏电阻器，被称为电阻型结露传感器。图6所示是常用的两种电阻型结露传感器的实物照片。这种结露传感器对低湿不敏感，仅对高湿敏感。当相对湿度低于80%RH时，它的输出参数与相对湿度之间的关系曲线较平坦，而当相对湿度超过80%RH时，曲线出现拐点，输出参数急剧突变，具有开关特性。结露传感器的经典应用实例就是作为磁带录像机的结露检测。当环境的相对湿度过大时，录像机走带机构上的金属零件就会结露，导致磁带和机械传动装置之间的摩擦阻力增加，引起磁带走速不稳定甚至停止。为保护磁带及磁鼓，在录像机中安装了结露传感器保护装置。当设备产生结露时，可使录像机进入自动停机保护状态。结露传感器还用于汽车玻璃的自动去湿装置上，以便在空气湿度高、车内外温差大、玻璃窗上开始发生结露而影响驾驶者视线时，自动控制加热器消除玻璃结露。

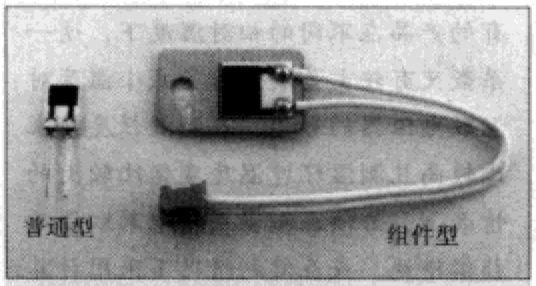


图6 常用电阻型结露传感器外形图

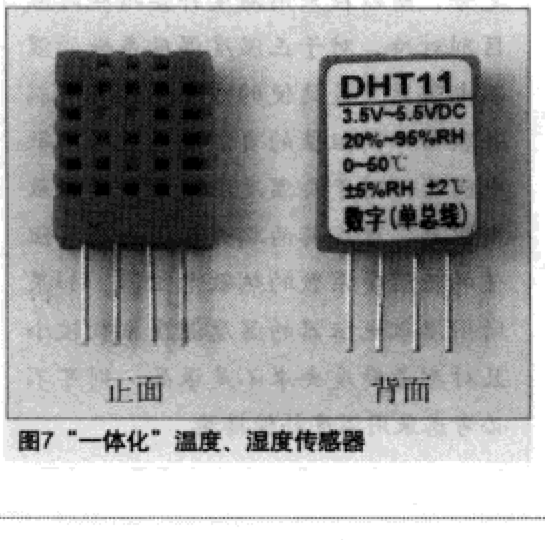


图7 “一体化”温度、湿度传感器

5 湿敏电阻器的电阻值与对应的相对湿度不是线性关系，为准确地获得湿度值，通常在测量电路中都要加入线性化电路，以使得输出电信号正比于湿度的变化，再驱动线性数字显示屏或表头工作。由于湿敏电阻器的电阻值与相对湿度呈非线性关系，加上还存在湿度温度系数，所以这一产品在使用中互换性较差。

6 普通湿敏电阻器的测湿精度一般≤±3%RH。通常产品资料中给出的精度是指在规定的温度下和洁净的空气环境中测出的。如在不同温度下使用湿敏电阻器，要考虑到温度变化所带来的精度改变。另外，实际应用中由于湿敏电阻器要长期暴露在待测环境中，很容易被尘土、油污、有害气体等污染，所以使用时间一长会产生老化，从而影响测量精度。普通湿敏电阻器长期工作时的稳定性相对都比较差，其每年老化速度可达1%RH～3%RH。

7 温度和湿度密不可分。为此，“一体化”的温、湿敏电阻器（传感器）产品应运而生。将一个湿敏电阻器和一个热敏电阻器独立装配在同一个防尘保护罩内，便构成了图7所示的“一体化”温度、湿度传感器。这一产品已广泛应用到“电子温度/湿度表”和各种温度、湿度检测装置中。图7所示的DHT11型数字温湿度传感器，内部集成了一只100kΩ热敏电阻器和一只HR202型湿敏电阻器，工作电压3～5.5V，响应时间＜5s。湿度测量范围20%RH～95%RH（0～50℃温度补偿），精度±5.0%RH；温度测量范围0～50℃，精度±2.0℃。例如，在高级小汽车的车窗和挡风玻璃结露系统中使用这种传感器后，通过对车厢内空气的相对湿度和挡风玻璃温度的共同测量，可自动判断车内空气是否处于露点附近。如果临近空气露点，便会启动车内空调系统的除湿功能，及时避免在挡风玻璃上发生结露现象。

8 湿敏电阻器损坏后一般不能修复。建议最好用同型号、同标称电阻值的湿敏电阻器进行更换，以确保测试性能不降低。由于湿敏电阻器产品存在一致性较差的原因，所以即使选用同一种型号的产品进行互换，也要注意对电路工作点重新进行调试，以免造成较大的测湿误差。显然，湿敏电阻器存在的分散性给维修工作增加了难度，必须认真对待。有资料介绍，在业余条件下应急维修时，可用同阻值的普通碳膜电阻器除掉漆皮后代用湿敏电阻器（去掉漆皮后，受湿度影响其阻值会变化），具体效果如何，笔者尚未验证过，有兴趣的读者不妨实际对比试验一下。

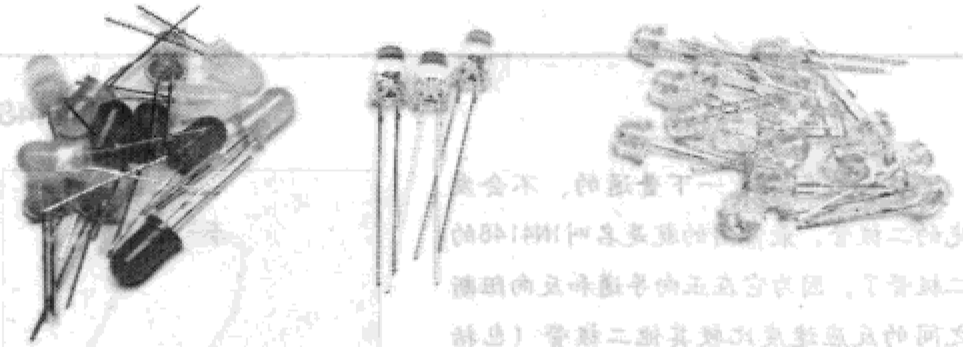
9 湿敏电阻器的工作特点决定了其本身为非密封型产品，为确保测量时的准确度和稳定性，应尽量避免在酸性、碱性及含有机溶剂的环境中使用，也避免在粉尘较大的环境中使用。如果监测环境比较恶劣，建议尽量使用硅湿敏电阻器等抗污染能力强的产品，以保证在微量的碱、酸、盐及灰尘空气中能够正常工作，不至于降低工作可靠性或导致失效。普通湿敏电阻器还应避免在结露环境下使用，否则其吸湿材料（湿敏膜）会因湿润而溶解，厚度会发生变化，若反复结露与潮解，特性将变坏而不能复原。另外，为了正确监测出指定空间的湿度，还应注意将湿敏电阻器安装在空气流通的地方。

面包板入门电子制作（4）

◇杜洋

大家好，欢迎继续阅读本系列文章。之前我们在介绍盒子里所有元器件的时候，曾经提到过二极管，当时我说二极管具有单向导电的特性，现在我们就来细致地研究一下这种元件，看看它的这些特性在实验中会呈现出什么模样，我们如何利用这些特性来设计出好玩的小东西。

初探二极管



我们在介绍二极管的时候，不得不提到一种很特别的二极管，它真的是越来越特别了，以至于人们已经习惯性地认为它不属于二极管的大家庭，而是独立出来的新事物了，它就是发光二极管。发光二极管的特性之一也是单向导电性，可是它却比普通二极管多了一个会发光的能耐。又因为目前的工业化社会对照明和显示技术的需求，就使得人们更关注它的发光特性，还给它取了个别名叫LED，而忽视了它本身其实还是个二极管。那么，本期我们就把普通二极管和发光二极管放在一起介绍，同时也会介绍LED的发光部分的特性。

发光二极管

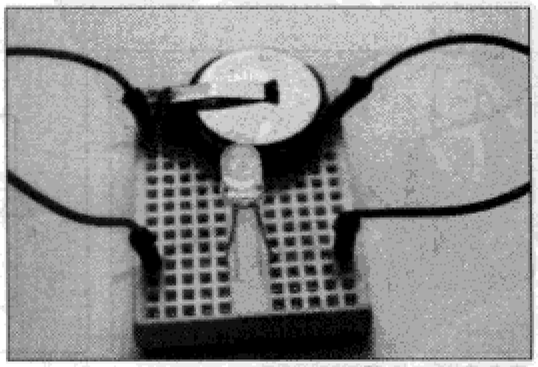
在五种感官中，我们更喜欢接受视觉和听觉的刺激，好吧，那我们就先来介绍发光二极管，也就是LED。在盒子里，我们可以找到各种颜色和几种外观不同的LED，颜色上的差异不用我多说大家也都明白。塑料帽是红色就会发出红光，是绿色就会发绿光，这样的LED叫红发红、绿发绿型LED。前一个“红”表示LED塑料外壳的颜色，后一个“红”表示的是LED所发出的光的颜色。还有几种LED的塑料帽是透明的，难道会发出透明的光吗？这应该是不可能的吧。透明外壳的LED到底是会发什么颜色的光呢？让我们通过实验看看。

用这样的简单电路，我们可以发现，分别有聚光白发白、聚光红发红、聚光黄发黄、聚光绿发绿、草帽白发红、草帽白发蓝、草帽白发白、草帽白发绿等情况。透明外壳的LED被称为“白发”，比如透明外壳发红光就叫白发红，发绿光就是白发绿，发白光就叫白发白。这些透明塑料帽的LED要比有颜色的LED亮很多，而且颜色更纯正、艳丽。

从这一点上我们可以判断，塑料帽有颜色的LED主要用来做指示灯，而透明塑料帽的LED主要用来做照明和显示（如广场大屏幕，LED牌匾等）。另外我们还会发现LED的外形也是不同的，有一些的塑料帽部分是高的，还有一些是短的，好像是高帽和礼帽的区别。帽高的LED是把光线都聚焦在LED的正上方，形成一个圆形的光柱，就好像手电筒，这种LED叫做聚光LED，通常没有特别说明的情况下，普通LED指的都是这种LED。而帽短的LED所发出的光是散开的，几乎散落到每一个角落，就像家用的电灯泡，这种LED叫做草帽LED，可能是因为LED塑料外壳的部分酷似草帽，因而得名吧。反正一提到草帽LED，你就知道是短帽的散光LED就行了。

下面我们来用实验观察一下LED的单向导电特性。所谓的“单向导电”就是说电流只能从二极管（包括LED）的正极流到负极，却不能从负极流到正极，就好像瀑布的水只能往下流一样。下面我们把一个LED接在电池的正负极上，然后再把LED反转过来，当LED点亮的时候，就说明电流是从正极流往负极的。LED不亮的时候就是电流从负极流向正极，被阻断了。

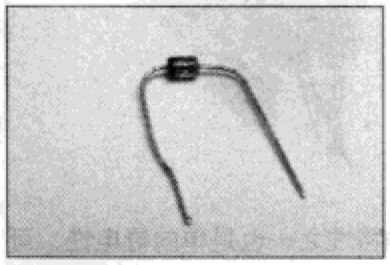
LED还有一个很重要的特性就是“驱动电压”，下面我们来做这样一个实验。把一个白发白的LED在面包板上点亮，然后再在LED上并联一个红发红的LED。这时你会发现，原来白发白亮得好好的，可是当红发红LED并联的一瞬间，白发白就熄灭了，而红发红却亮得正欢。取下红发

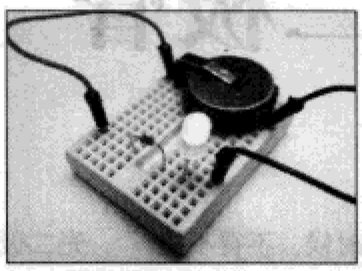


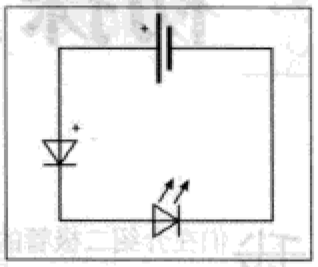
点亮LED

红，白发白又亮了起来，它们好像是冤家一样，不是“你死”就是“我活”，这是为什么呢？其实大家还可以换用另外两种LED再实验一下，看看有哪一些可以同时点亮，有哪一种是“你死我活”的，然后把它们分类出来。之所以会出现这样的现象，是因为LED的驱动电压不同，驱动电压是指LED可以正常发光的最低电压，有的是1.8V，还有的是2.8V，当两种不同驱动电压的LED并联在电池上，驱动电压较高的（2.8V）的LED就不会亮，因为电池电压被1.8V的LED限制住了。如何让驱动电压不同的LED同时点亮呢？当我讲到电阻的问题时，再给大家解密吧。

二极管1N4148


二极管1N4148


正向串联二极管



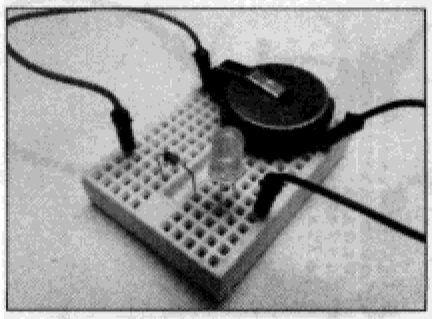
现在我们来看一下普通的、不会发光的二极管，最常用的就是名叫1N4148的二极管了。因为它在正向导通和反向阻断之间的反应速度比较其他二极管（包括LED）要快，所以它是数字电路中非常常用的一种二极管。1N4148的反应速度快不快，我们以后再来谈，现在单就它的单向导电性能做一个实验。

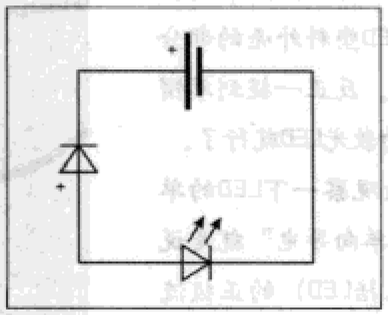
我们依然采用电池点亮LED的简单电路，这次我们把1N4148串联到电路中。请大家注意，1N4148的小玻璃管的一侧有一个黑色的环，有这个黑色环一侧的引脚就是二极管的负极；反之，另一侧是正极。当1N4148正向串联到电路中时，LED就会点亮；当1N4148反向串联时，LED不会点亮。很有趣是不是？正是因为二极管的这种单向导电性，所以它又被称为“半导体”。

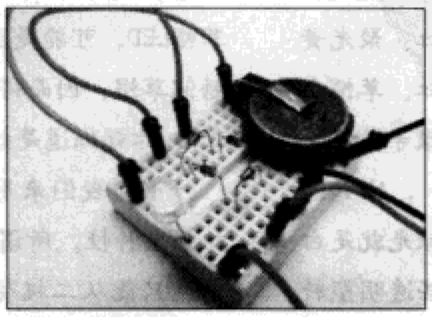
一个二极管上所能演绎的电路也就是这样了，但是多个二极管可以玩出的花样就更多了。在没有学习到其他元器件的组合应用时，我先给大家介绍一款利用4个二极管所组成的整流桥电路。什么是“整流桥电路”呢？其实“整流桥”就是把4个二极管的引脚按一定的顺序首尾相连，先后再把引脚连接的部分接入电路中，外表看上去好像一个环形的立交桥，所以叫“桥电路”。那么“整流”的意思就是把不规则的电流通过二极管的单向导电性能整理成有规律的电流。

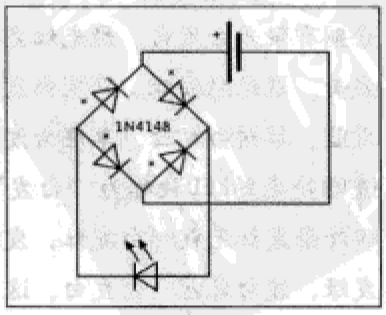
我们都知道，家里用的市电是220V/50Hz的交流电源，交流就是不规则的电流，当我们需要5V直流的电源时就需要先把交流变成直流，然后再把220V降压到5V。其中交流变直流的过程就是“整流”（整流桥的电路又分全桥整流和半桥整流，我们现在采用的是全桥整流电路，半桥整流就是使用1个或2个二极管所制作的整流电路，以后有机会再给大家细说）。那么在我们的面包板实验电路中，在没有交流电源的情况下如何尝试整流桥呢？其实很简单，我们需要做的是一个可以任意调换电池的正负极，却都可以点亮LED的电路。之前我们说过LED是要分正负极的，极性接反的话是不亮的，但我又说过整流桥的功能是把不规则的变成规则的，不论电池正极接到哪里，在LED一端都会得到正确的极性。下面请大家自己根据电流在二极管中单向流动的特性，分析一下这个整流桥的原理吧。

请大家按照图中的电路图在面包板上搭建这个电路吧，然后接上电池，看LED会不会点亮，再把电源的正负极反转过来，看看LED还会不会点亮。关于二极管的实验在我这里还有一些，不过因为这些实验需要涉及其他的电子元器件，那么我们就把使用二极管的一些实验留到以后机会成熟时再一并讲解吧。本文你只要知道LED的外观和性能的差异，1N4148开发二极管的单向导电特性，以及4个二极管所组成的整流桥电路。接下来，我们会研究三极管，一个非常重要且常用的元器件，它将是我们后续教学的重点内容，请大家做好准备。


反向串联二极管




整流桥电路



◇姜伟伊 张峥

电子爱好者感兴趣的安卓手机应用软件

随着移动互联网的迅速发展，手机不再是一个打电话的工具，它已经融入人们的日常生活。智能手机系统中，虽然苹果iPhone的iOS系统领导着潮流，而且拥有无比时尚的人气优势，但其唯一的硬件终端支持及封闭的商业运营模式防碍了很多天生具有探索精神的爱好者进入。相反，来自Google的Android系统则有互联网开放的精神光芒，允许开发商不受类似苹果的各种约束条件自由创造，在众多厂商支持的硬件手机系统上无拘束地发展。正因为具有这样的优点，不少电子爱好者钟爱使用Android系统的手机变得理所当然。

本文收集了一些适用于Android手机的与电子爱好相关的应用软件，大家一起来体验移动互联网是如何在Android系统下“浸润”我们的爱好吧。

应用程序运行系统环境

本文介绍的所有应用程序均在以下系统环境正常运行：

智能手机型号：三星SAMSUNG I9108。硬件版本I9108.01，软件操作系统Android2.3.4。

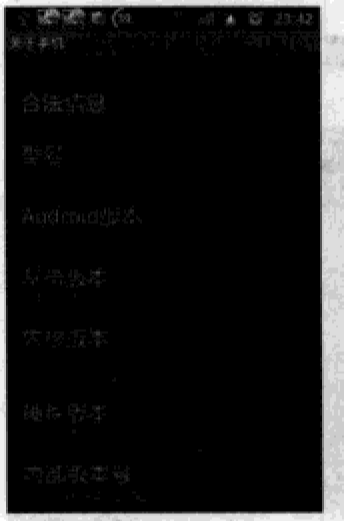
软件下载应用程序：应用汇（AppChina.com）版本2.2.0，中国移动MM（Mobile Market，http://mm.10086.cn），版本0.9.14841。

读者使用其他Android系统硬件或更高版本的软件理论上应该都支持以下介绍的应用，具体情况需要测试确认。

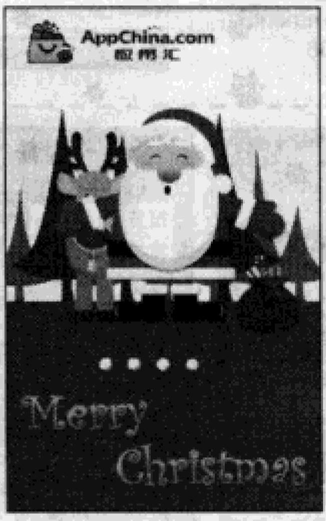
使用应用汇和中国移动MM两个下载程序搜索到的应用程序部分内容相同，有的内容则不一样，可根据需要分别下载。也可以采用其他的下载程序或通过PC访问互联网获得应用软件。本文介绍的多数程序在应用汇客户端中都能直接下载。

应用程序的一般使用步骤为：

搜索 → 下载 → 安装 → 配置 → 运行



手机配置情况



“应用汇”客户端界面

“应用汇”客户端的搜索

中国移动MM客户端界面

杂志书籍

安卓应用中杂志书籍关于无线电的内容远远少于文艺类、社科类的书籍，并且多以测试为主。作为无线电书籍的手机阅读应用，仅仅是一个尝试的开始。

>> 电子科普杂志《无线电》 推荐指数：☆☆☆

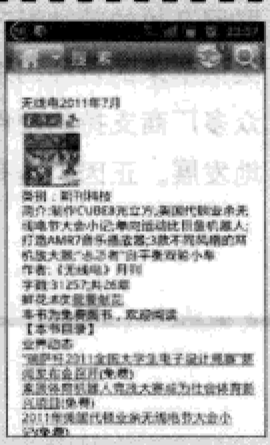
《无线电》的读者应该首先看看手机上的电子杂志是什么样子。这本电子书由中国移动提供测试，在中国移动手机阅读（http://read.10086.cn/）应用中可以打开。程序中可以通过目录选择直接到达需要阅读的章节，给文章写评论、送花、推荐或赠送给好友等。目前可以下载到2011年第7、8、9期杂志内容全文。大概因为应用程序主要是为小说类书籍提供阅读功能的缘故，《无线电》电子书只能看到文字内容，配套的图片、电路等都不能展示，完全失去了科技杂志的关键因素。

缺点：需要付费下载（0.3元/期），只有文字，没有配套的照片和电路图。

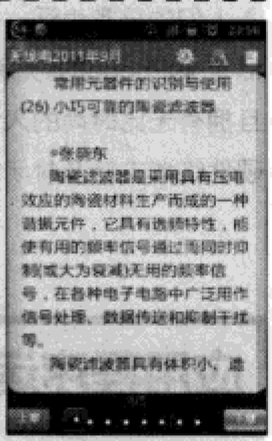
《无线电》2011年7期
http://read.10086.cn/www/bookDetail?bid=361652229

移动MM搜索到《无线电》

下载到手机书架中的《无线电》杂志


下载中的介绍

2011年9期《无线电》目录


阅读中的文章

>> 电子漫画书《永不消失的电波》 推荐指数：☆☆☆

给初学者介绍业余电台时经常都会提到著名的影视作品《永不消失的电波》。作品中反复出现了电台通信的情节，这也是很多老无线电爱好者所津津乐道的内容。新一代的年轻人没有机会看到原片电影，不妨下载这本漫画书看看。用新华瑞德电子阅读客户端可以打开，一共5个部分，内容很简洁，把主人翁李侠借助无线电台做抗日地下工作的故事进行了概括性演绎。

缺点：内容太简单，漫画内容不够精细（电键都看不清楚，传递情报的纸条看上去像U盘）

《永不消失的电波》漫画书
http://www.xinhuapinmei.com/mallmanagement/booksAction.do?method=toBookInfo&commentPagSize=2&descSize=100&productId=16706

《永不消失的电波》内容截图（画面显得有些粗糙）

电路设计和仿真

爱好者在PC电脑上常用来设计电路图、画PCB、仿真电路计算的软件有Protel、PowerPCB、Eagle、CircuitCAD、Multisim、EWB等，读者都耳熟能详。看看在手机上画个电路图能有什么精彩表现。

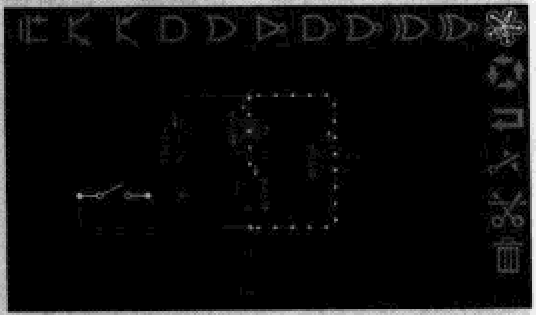
>> 电路模拟器EveryCircuit　推荐指数：☆☆☆☆☆

一款专为电子技术专业用户提供的电路模拟工具。可以设计绘制各种电子电路，手动调整各元件参数、输入、输出变量条件，轻松观察到电路的状态：节点电压、电流、信号波形等。有动画演示电流流向、瞬态情况。如果用实体元器件完成这些仿真实验，那购买配套的信号发生器和示波器等测试仪表等绝对不是花几万元钱和用几个小时可以完成任务。对电路爱好者来讲，用这个软件可以仿真地模拟检测电路设计存在问题和缺陷。软件附带了一些常用的电路，可以打开文件进行演示，也可以将自己设计的电路保存下来。

最令人振奋的消息是，此软件可以下载到免费的版本，并且有中文版，对不熟悉英文的读者来说很容易上手操作。保存文件也可以兼容中文文件名。

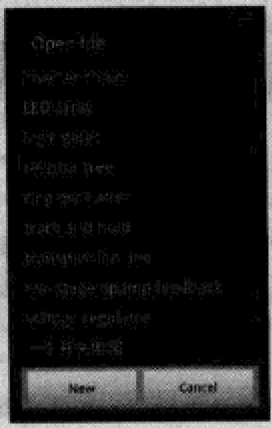
缺点：电路元件符号不太符合中国习惯。

电路模拟器EveryCircuit
http://www.appchina.com/soft_detail_6624_0_10.html

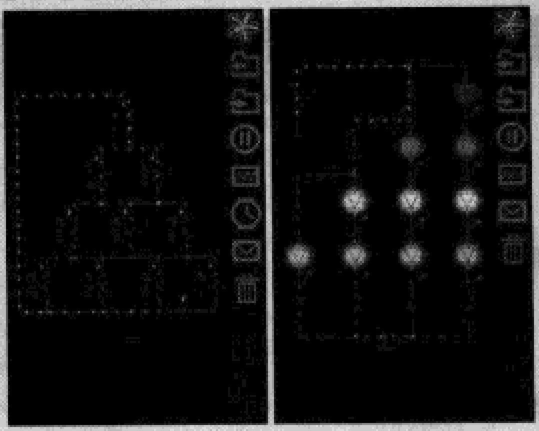


电路关键点参数测量模拟

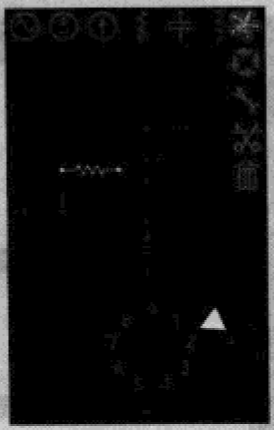
电路模拟器简介



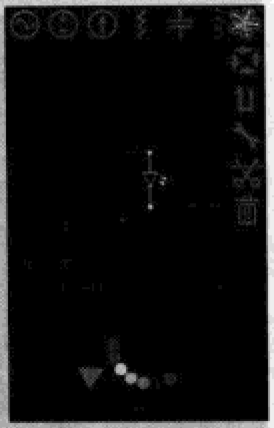
打开保存文件功能



文件示例电路电压、电流、显示状态模拟演示



调整电阻阻值



调整LED发光颜色

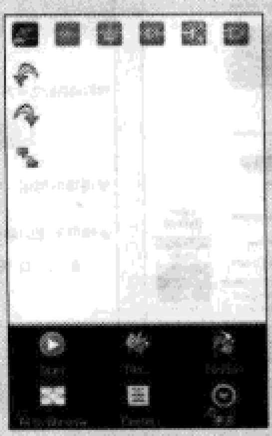
>> 仿真电路模拟器Droid Tesla Pro　推荐指数：☆☆☆☆

这是一个Android平台上的SPICE（Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis）模拟器，与上面介绍的应用功能差不多。从介绍上看，它主要用于集成电路的仿真模拟，实际使用与EveryCircuit相差不大，分离元件电路一样可以胜任，颜色配置、动画演示效果不及EveryCircuit。原配的演示电路文件挺丰富的，一一看完，对常见电路特性也基本略知一二了。

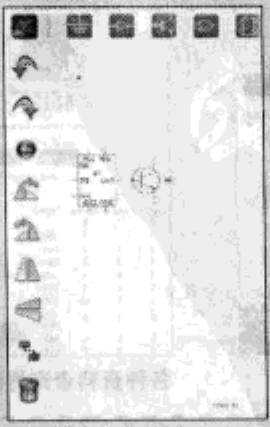
缺点：动画太差，没有美感，没有汉化版本。

电路模拟器
Droid Tesla Pro
http://www.appchina.com/soft_detail_6095_0_10.html

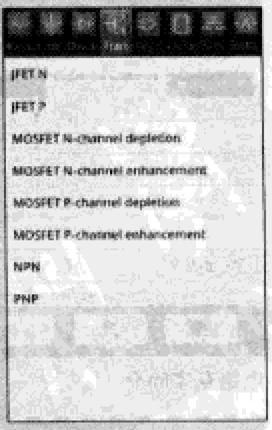
电路模拟器简介



主要界面及菜单



绘图界面



选择晶体管类型

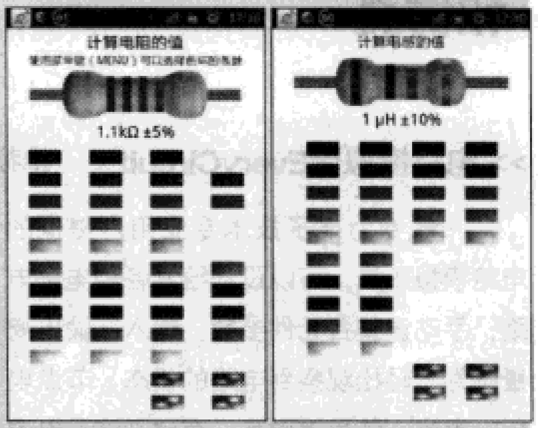
>> 电路专家手册Electro Droid　　推荐指数：☆☆☆☆☆

这是一个基础电子电路器件的基本性能指标和常用计算公式查阅手册。它比我见过的任何一本纸板电子元件手册都实用，图文并茂，标识清楚。做电路设计时用上这个软件绝对事半功倍。

Electro Droid应用可以查询欧姆定律，电抗、分压器、电阻率、电阻串并、运算放大器、多种滤波器等基本电子学知识的查询和计算。可以查阅各种标准、不同标识方法的色环电阻/电感值、贴片电阻代码、常见集成电路引脚定义、导线载流等数据。能够直接计算电容充放电时间、555时基电路/LM317稳压电路参数、电感线圈绕制等元件参数。常用USB、串口、并口、以太网插头，耳机插头等常见插口、接头引脚定义、关键指标参数。总之，一般爱好者经常用的内容在软件中都能找到。

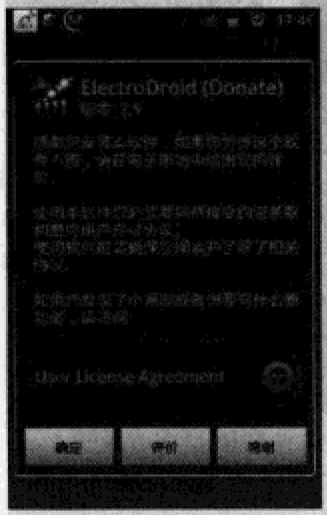
中文版汉化效果很好，翻译准确，符合中国读者习惯。安装了这个程序，完全可以让电子工程师只拿一只安卓手机，就能走遍天下闯江湖。

缺点：无



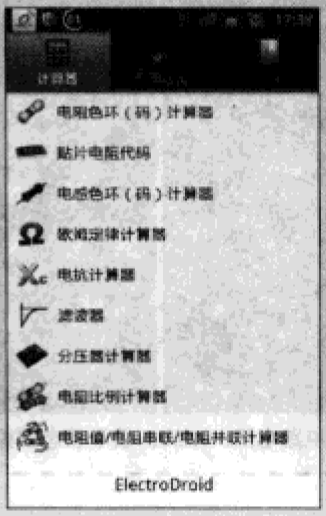
色环电阻、电感查询，按实物示意图选择颜色即可显示元件参数

电路专家手册Electro Droid
http://www.appchina.com/soft_detail_2524_0_10.html



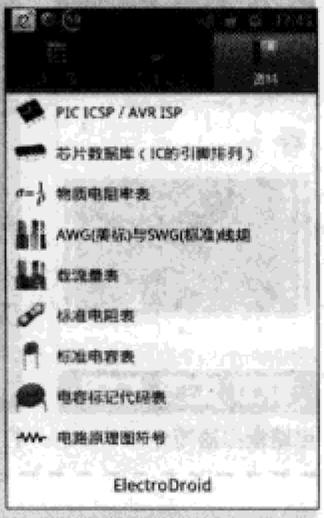
安装结束显示内容

选项菜单内容

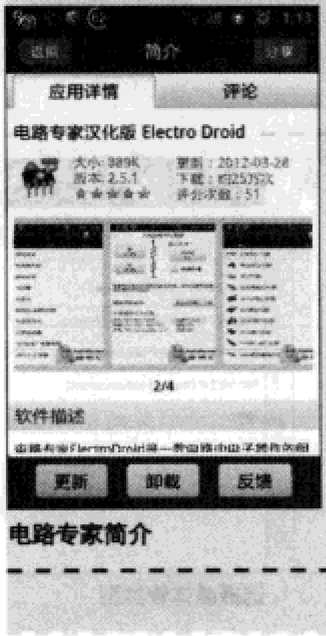


常用公式计算器

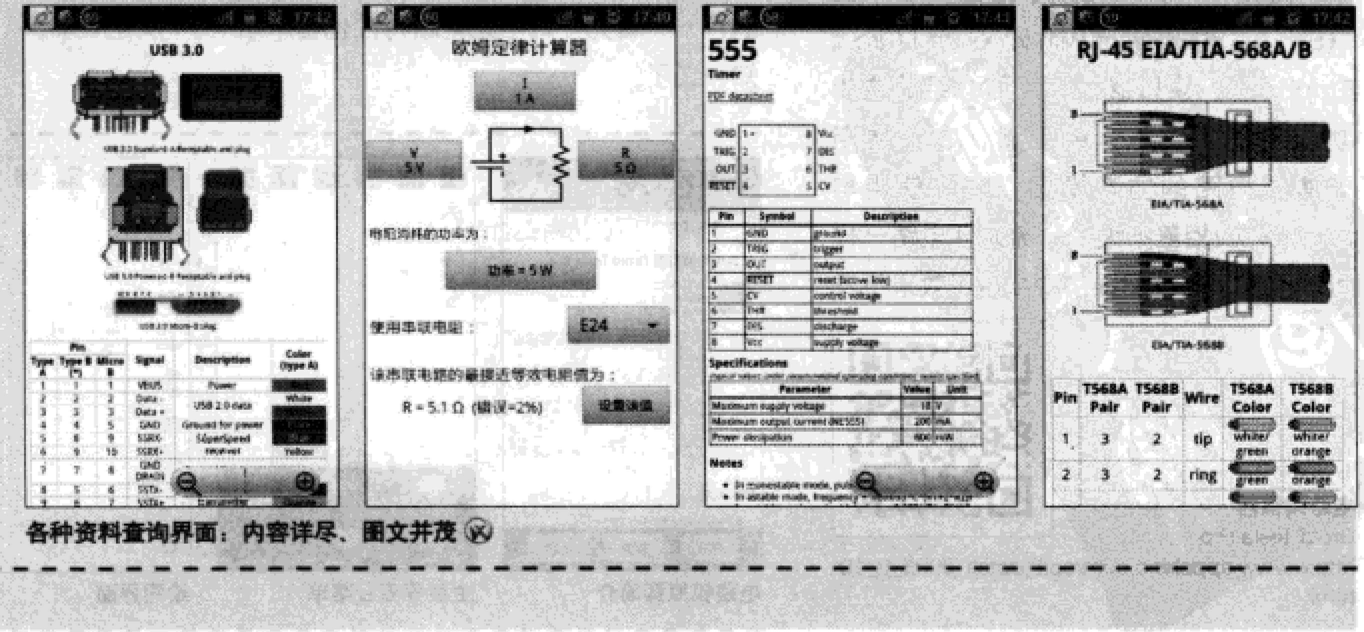
常用接插件定义查询



常用资料查询列表



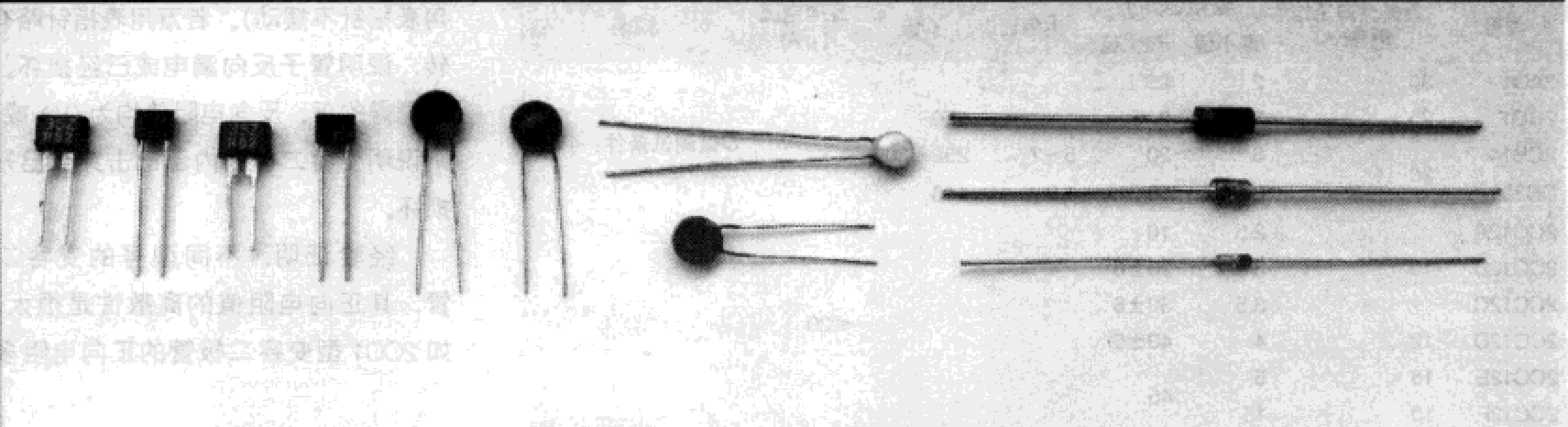
电路专家简介



各种资料查询界面：内容详尽、图文并茂

常用元器件的识别与使用（31）

◇张晓东



小巧长寿的变容二极管

变容二极管又称“可变电抗二极管”，它利用半导体PN结电容或金属—半导体接触势垒电容随外加反向偏压变化而变化的原理制成，是一种专门作为“压控可变电容器”的特殊晶体二极管。变容二极管通常可替代可变电容器，在现代通信设备及家用电器中做高频调谐、频率自动微调、扫描振荡及相位控制等使用。

变容二极管的主要特点是体积小，能防尘、防潮，抗冲击振动，寿命长。例如，将变容二极管用于调频收音机的调谐器电路中，不仅以崭新方式取代了使用普通可变电容器时所存在的动作最大、故障率最高的调谐机构，而且由此派生出许多如自动调谐、预选节目等新技术，使调频收音机无论从质量和使用方便上都提高到一个新水平。下面就向初学者介绍常用变容二极管的识别与使用方法。

如何识别变容二极管

1. 外形及分类

常见变容二极管的实物外形如图1所示，由图可知，变容二极管的外形与小型普通晶体二极管几乎没有什么区别。变容二极管常见的外壳封装形式有陶瓷封装（实为环氧树脂密封的陶瓷基板）、玻璃封装、塑料封装三种，此外还有不常见的金属壳封装（大功率管）和无引线表面贴装等。变容二极管按制作所用半导体材料的不同，可分为硅变容二极管、锗变容二极管、砷化镓变容二极管等。

2. 基本参数

变容二极管的主要参数有结电容、结电容变化范围、最高反向工作电压、电容比和Q值等。

3. 型号命名

国产变容二极管的型号命名遵循了半导体器件的统一命名规则，其型号一般由五个部分组成（也有省掉第五部分的），格式和含义如图2所示。第一部分用阿拉伯数字“2”表示二极管，第二部分用汉语拼音字母表示管子的材料和极性，如“A”为锗N型、“C”为硅N型，第三部分用汉语拼音字母表示管子的类型，如“C”表示参量变容二极管，“B”表示电调谐变容二极管，第四部分（数字）、第五部分（汉语拼音字母）分别表示产品的序号和规格，其中第五部分多用汉语拼音字母区分同一型号产品的最高反向工作电压和结电容等参数的不同，具体可查看

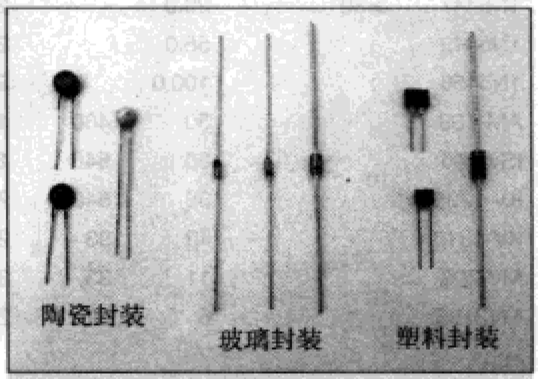


图1 常用变容二极管实物

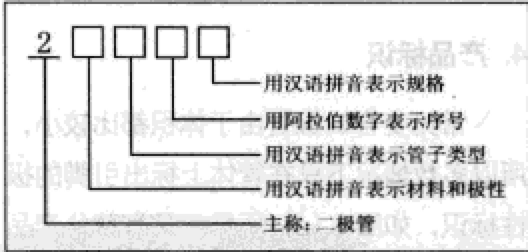


图2 国产变容二极管的命名规则

有关手册。例如：2AC1型表示锗变容二极管，2CC1A和2CC1F型均表示硅变容二极管，前者最高反向工作电压为20V、结电容变化范围为60～100pF，后者最高反向工作电压为60V，结电容变化范围为20～60pF。

还有一些国产变容二极管的型号命名采用了生产厂家自定的命名规则或直接参照了国外产品的型号命名，如303B、DB300、B910A、FV1043、KV1235Z型

附表　常用变容二极管的性能参数

型号	最高反向工作电压(V)	结电容(pF) 最小值	结电容(pF) 最大值	电容比	Q值	反向电流(μA)	说明
2AC1	30	2	25				
2CC1	25	3.6	2.7		250		
2CB14	30	3	20	5~7	250~300		Q值测试条件：4V、50MHz
DB300		6.8	18	1.8	110		
2CC12A		2.5	10				
2CC12B	10	3	20±6				
2CC12C		3.5	30±6				
2CC12D	12	4	40±6			≤20	
2CC12E	15	5	45				
2CC12F	10	15					
2CC149	12	435	540		≥200	0.05	
2CC203A	15	74	125		≥100	0.5	
2CC203B	28	92	120				
303B	30	3~5	18~30	>6			工作频率1000MHz
B112		10	180	>16			工作频段：AM
1N5439		3.3		2.3~3.1			
1N5443		10.0		2.6~3.1			
1N5447	≥30	20.0		2.6~3.1		≤20	最小结电容测试条件：4V、1MHz。
1N5449		56.0		2.6~3.3			
1N5456		100.0		2.7~3.3			
AM-109		30	460	15			
ISV-149	10	30	540	18			工作频段：AM
KV-1236		30	540	20			
KV-1310		43	93	2.3			工作频率>100MHz
MV-209	10	11	33	3			
MV2105		6	22	2.5			工作频段：UHF

等。附表汇集了一些常用变容二极管的型号及性能参数，仅供参考。

4. 产品标识

常见变容二极管由于体积都比较小，所以多数情况下只在管体上标出引脚的极性标识，如图3（a）所示，只有部分产品才在外壳上标出型号或简化了的型号，如图3（b）所示。要想了解变容二极管的具体特性和有关参数等，唯一的途经就是查看厂家提供的说明书或有关元器件参数手册。

根据变容二极管的外壳标志或封装形状，可以区分出其两引脚的正、负极性来。图4所示是常见变容二极管的引脚识别方法。由图可知，变容二极管两引脚正、负极的识别方法，与普通晶体二极管完全相同。但需要注意的是，由于变容二极管是工作在反向电压状态下的，所以在接入电路时，其负极应接高电位，正极应接低电位。

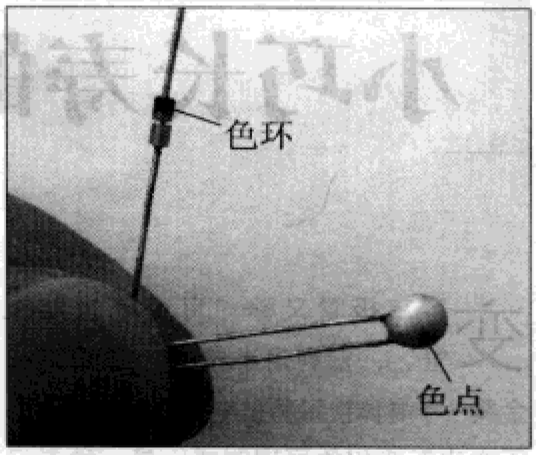
如何使用变容二极管

1. 简易测试方法

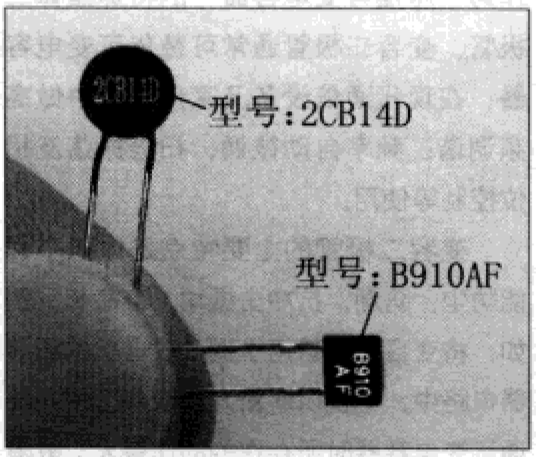
业余条件下，通过直观查看来衡量变容二极管品质的标准是：外壳应光滑平整、无破损，引脚应牢固可靠。除此以外，借助普通万用表可进行下面简单的检测：

（1）判断好坏。按照图5（a）所示，将普通MF50型指针式万用表（或其他万用表）拨至“R×10kΩ”电阻挡（内部15V或9V电池供电），红表笔接所测变容二极管的负极、黑表笔接其正极，测出的正向电阻值应为几千欧至100kΩ（具体数值随被测管型号和所用万用表的不同而异）。调换表笔测量管子的反向电阻，如图5（b）所示，其阻值应为∞（万用表指针不摆动）。若万用表指针略有偏转，说明管子反向漏电或已经损坏。如果测得的正、反向电阻值均为0Ω或∞，则说明变容二极管内部已击穿或已开路损坏。

经验证明，不同型号的变容二极管，其正向电阻值的离散性是很大的。如2CC1型变容二极管的正向电阻多为



（a）标出极性



（b）标出型号

图3 常用变容二极管的标注方法

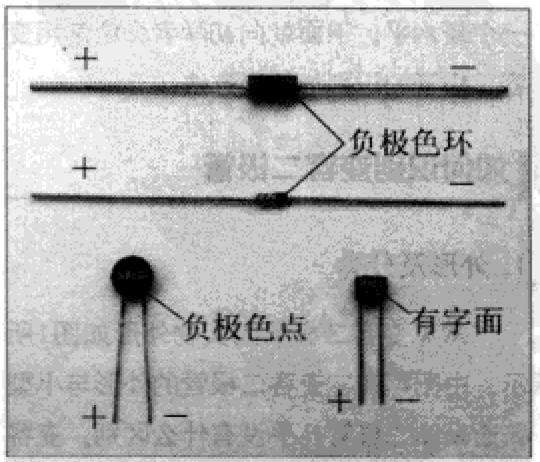


图4 常用变容二极管引脚的识别

10kΩ，本例测量时接近48kΩ。另外，对于某些正向电阻比较小的变容二极管，也可以使用“R×1kΩ”电阻挡（内部1.5V电池供电）进行检测。但对于采用砷化镓单晶材料生产的变容二极管，在用该挡检测时，无论是正向测量，还是反向测量，所得电阻值均会为∞。遇到这种情况，不要轻易判定被测管是坏管，应使用“R×10kΩ”电阻挡进行必要地复测，然后再做出相应的结论。

（2）判断极性。对于极性标识不清楚的变容二极管，可在上述检测的基础上，参照图5（a）和图5（b）所示，判断出被测变容二极管的正、负极性来。将万用表的两指针分别接被测变容二极管的两引脚，如果万用表指针读数在几千欧至100kΩ之间，则红表笔所接引脚为被测变容二极管的负极，黑表笔所接引脚为其正极，如果万用表指针不动，则红表笔所接引脚为被测变容二极管的正极，黑表笔所接引脚为其负极。

（3）测量结电容。利用具有电容测量功能的ET-1700型（或UT60E、DT889、VC9208型等）数字万用表，可测量出变容二极管的结电容。检测方法如图5（c）所示，将数字万用表的功能开关拨至“CAP”电容挡。红表笔接所测变容二极管的负极、黑表笔接其正极，读出显示屏数字，即可认为是所测变容二极管的结电容量。例如，图中所测变容二极管的电容量为0.09nF = 90pF。

需要指出的是，在测量结电容前，应将被测变容二极管两引脚先短路一下，以泄放掉有可能存在的电荷。此外，变容二极管的标称结电容量还与环境温度有关，为尽可能保证测量结果的准确，应注意在正常的室温条件下检测。

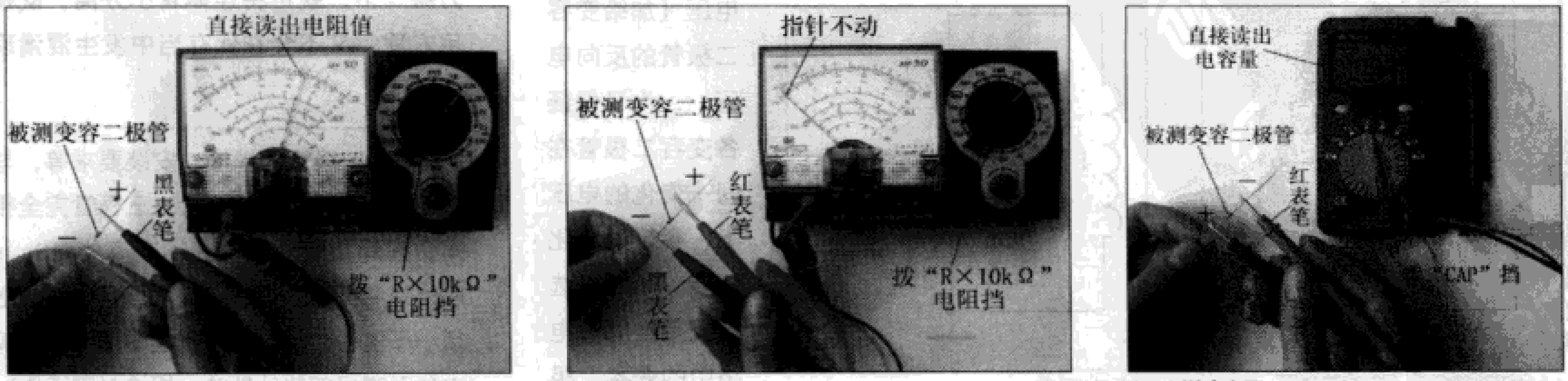
3. 使用常识

变容二极管作为一种压控变容元件，目前已在电视机、调频收音机等许多家电产品和通信设备上得到广泛应用，它取代普通可变电容器，不仅实现了高频电调谐，而且还实现了频率跟踪、频率调制等多种功能。合理正确地选择和使用变容二极管至关重要，下面就向使用者介绍一些必须要掌握的最基本、最有用的知识和技能。

❶ 选用变容二极管时，首先应根据应用电路的特点和要求，确定选择合适的产品类型。以国产变容二极管为例：在用于自动频率微调、远距离控制调谐等电路时，可选用2CCl～7系列硅外正平面片式变容二极管等，在用于短波接收机、超短波接收机、电视机以及各种无线电测量仪器等电路中作电调谐自动频率微调时，可选用DB300～320型全密封环氧树脂陶瓷片状硅变容二极管，在用于参量放大器、调谐、信频等电路时，可选用WB52～60型砷化镓陶瓷金属密封同轴型变容二极管等。其次，应保证所选用变容二极管的主要参数（包括结电容、结电容变化范围、最高反向工作电压和截止频率等）符合应用电路的要求，一般应尽可能选用结电容变化大、高Q值、反向漏电流小的变容二极管。

❷ 变容二极管必须在外加反向偏压的条件下才能正常工作。为了保证变容二极管在接入相关电路后能够稳定可靠地工作，必须注意以下“三要点”：一要避免变容二极管的直流控制电压与振荡电路直流供电系统之间的相互影响，通常采用电感或大电阻来做两者间的隔离。二要选择合适的工作点，即变容二极管直流反偏压要选择适当，不允许超过最高反向工作电压。在作电调谐时可调直流电压范围必须在管子所允许的工作电压范围内。三要避免变容二极管直流控制电压不稳定时所造成的结电容量的不稳定，为此，要注意对直流控制电压采取必要的稳压措施。

❸ 彩色电视机普遍采用的具有记忆功能（预选台）的电子调谐器，其工作原理就是通过控制直流电压来改变变容二极管的结电容量，以实现选择某一频道的谐振频率。又如，许多中小功率的调频发射机都采用变容二极管直接调频技术，即在工作于发射载频的LC振荡回路上直接调频，采用晶体振荡器和锁相环路来稳定中心频率。较之中频调制和倍频方法，该方法电路简单、性能良好、副波少、维修方便，是一种较先进的频率调制方案。



(a) 测正向电阻　(b) 测反向电阻　(c) 测结电容量

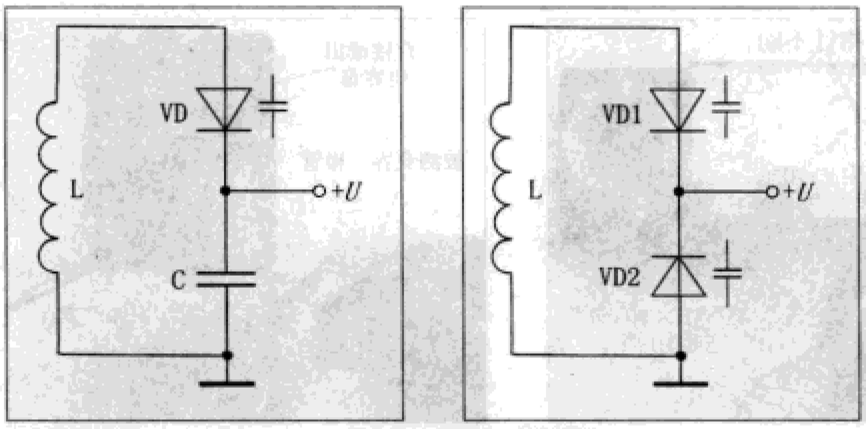
图5 变容二极管的检测

再如，变容二极管在无绳电话机中主要用在手机或座机的高频调制电路上，以实现低频信号调制到高频信号上，并发射出去。在工作状态，调制电压一般加到变容二极管的负极上，使其内部结电容容量随调制电压的变化而变化。

4 变容二极管组成的基本谐振回路如图6（a）所示，改变直流控制电压+*U*，即可改变变容二极管VD的结电容，从而达到改变谐振频率的目的。但是当谐振回路两端出现较大的外来交流干扰信号（例如系统天线引入的信号）时，该交流干扰信号会叠加在直流控制电压+*U*上，使+*U*及变容二极管VD的结电容也随交流干扰信号变化。这个变化的结电容称为寄生交变电容，它会造成谐振输出频率的变化，形成交互失真和非线性失真。为了改善性能，许多谐振回路采用了图6（b）所示的反向串联组态，即将两个变容二极管VD1、VD2“背对背”串联接入谐振回路。这样在交流干扰信号的任意半周内，一个管子的寄生交变电容增大时，另一个则减小，两者互相抵制，可使互调失真减小15～20dB。

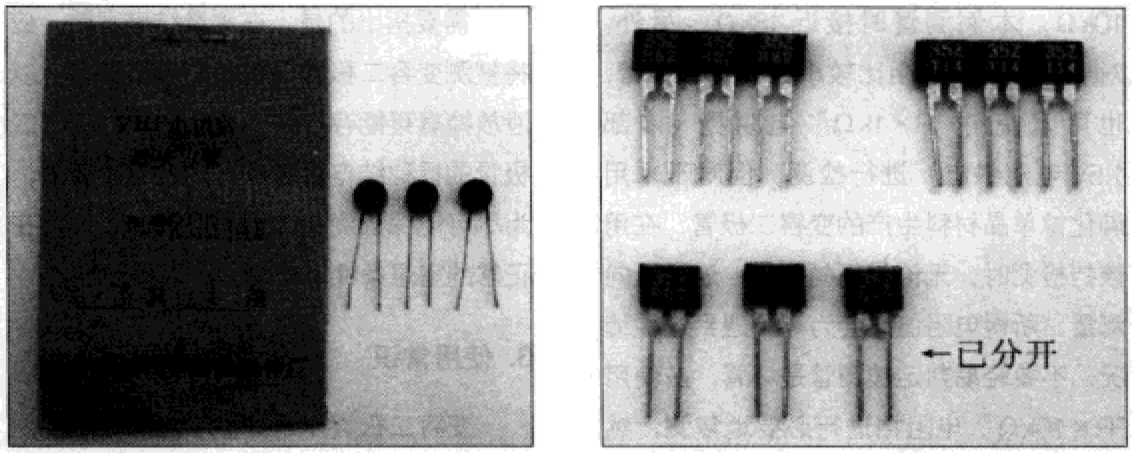
5 变容二极管发生故障时，主要表现为漏电或性能变差。当发生漏电现象时，所在高频调制电路将不工作或调制性能变差。当变容性能变差时，所在高频调制电路的工作将不稳定，使调制后的高频信号发送到对方，被对方接收后产生失真。出现这些情况并确认是变容二极管故障时，就需要更换同型号的变容二极管。

一般电路中的变容二极管损坏后，应尽可能用型号完全相同（包括后缀字母和色点一致）的变容二极管进行更换。如无相同型号的变容二极管，可用电参数相同的其他型号的变容二极管进行代换。具体的代换要点是，所换上去的变容二极管其结电容变化范围与原管相同，而最高反向工作电压则要相等或比原管更大些。对于同一电路使用多只变容二极管、且有严格“配对”要求的设备，应按下面的介绍进行更换。



(a) 基本电路　(b) 改进电路

图6 变容二极管组成的谐振回路



(a) 早年国产袋装管　(b) 进口“三连体”管

图7 配对的变容二极管实物

6 众所周知，超外差式收音机里使用的双连可变电容器,要求其容量同步变化。在将变容二极管用于双调谐等回路时，同样也有类似的要求。这是因为在同一电路中的多个调谐回路中，采用的是同一个调谐电压（加给变容二极管的反向电压），为了保证各变容二极管在同一变化的电压下，容量的变化同步，所以在选用或更换同一电路中的变容二极管时，必须注意做到配对（主要指结电容和反向电压特性保持一致），这就要求必须采用同型号（包括后缀字符）、同色点的同批次产品，以保证调谐的准确和良好的接收效果。当同一电路中某一调谐变容二极管损坏时，为了保证严格的配对，往往需要用新的“配对管”将相关联的全部变容二极管予以更换。

7 为了满足制作和维修时的“配对”需求，调谐用变容二极管多像图7所示的那样配对生产并销售。其中，图7（a）所示为早年间国产的VHF电调谐用变容二极管，3只C-U特性（即结电容和反向电压特性）及其他电参数一致的2CB14D管子为一组，装在一个小纸袋内，方便保存和使用，图7（b）为进口KV1235Z型“三连体”变容二极管，即厂家将电参数一致的3只管子的管体不完全分离，形成连体配对产品，使用时只要用手稍用力掰一下，就可将连体管子分离，既使用方便，又不会在保存当中发生混淆现象。

8 变容二极管的焊接、安装要求等，与普通小型晶体二极管、三极管完全相同。在焊接时注意，必须在离外壳3mm以外处弯折引脚或焊接，焊接用电烙铁必须小于30W，并尽可能用镊子、尖嘴钳等夹住引脚根部帮助散热，焊接时间不能过长，以免损坏管子。

◇任杰

谈谈BJT与MOSFET的开关特性

前段时间，一位同学跟我说，他用单片机做了一个简单的LED台灯，用PWM的方式控制灯的亮度，但是发现BJT总是很烫。他给我的电路图如图1所示。我问他，3V时LED的发光电流是多大，他说在十几到二十毫安。我又问他电阻多大，他说10kΩ。于是我笑笑说："你把电阻改小一点就好了。"他回去一试，说用了个1kΩ的电阻，就没有任何问题了。

我很失望他没有问我为什么要这么做，这可能是大多数电子爱好初学者存在的问题，他们的动手能力很强，但是并不注重基本的理论知识。他们大多数情况下都是"依葫芦画瓢"，借用现成的电路使用，就连参数和器件型号的选择都疏于考虑。

在电子设计与制作中，双极性晶体管（BJT）和金属—氧化物—半导体场效应管（MOSFET）是用得最多的有源器件。本文中，笔者试图以自己积累的一些经验来谈一下BJT与MOSFET的原理及电路中的具体应用。考虑到多数（分立元件）情况下，这两种器件在现代电子电路中用作开关器件，而恰恰相反的是，我们大多数的教科书却着重于介绍这两种器件的放大性能，所以本文仅讨论这两种器件作为开关器件时的特性和应用。

大多数人应该有这么一个概念：BJT为电流控制型器件，MOSFET为电压控制型器件。至于为什么这么说，通过以下的介绍，读者应该会很清晰的认识。首先我们来讨论BJT作为开关时的相关理论和基本应用。

关于BJT的讨论

图2所示的电路中，我们从VT的基极注入电流I_B，将会有电流流入集电极，大小关系为：$I_C=\beta I_B$。至于BJT发射结电压V_{BE}，并不重要，因为只要I_B存在且为正值时，这个结电压便一定存在并且基本恒定（0.5～1.2V，一般的管子取0.7V左右），也就是我们所讲的发射结正偏。既然V_{BE}是固定的，那么，如果BJT基极驱动信号为电压信号时，就必须在基极串联一个限流电阻，如图3所示。此时，基极电流为$I_B=(U_i-U_{BE})/R_B$。一般情况省略R_B是不允许的，因为这样的话I_B将会变得很大，造成前级电路或者是BJT的损坏。

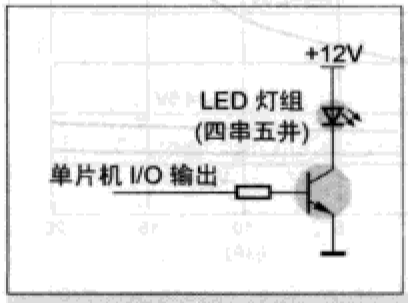


图1 案例1(用PWM的方式控制灯的亮度)

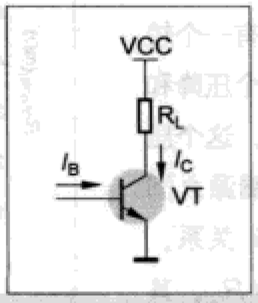


图2 BJT开关基本形式

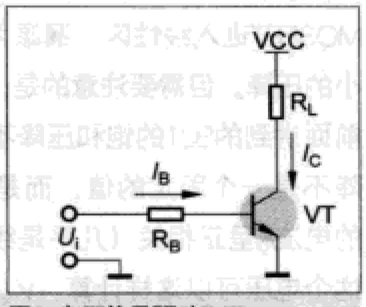


图3 电压信号驱动BJT

接下来进入我们最关心的问题——R_B如何选取。前面说到过，$I_C=\beta I_B$，为了使晶体管进入饱和，我们必须增加I_B，从而使I_C增大，R_L上的压降随之增大，直到R_L上几乎承受了所有的电源电压。此时，U_{CE}变得很小，0.2～0.3V（对于大功率BJT，这个值可能达到2～3V），也就是我们所说的饱和压降$U_{CE(sat)}$。如果达到饱和时，我们忽略$U_{CE(sat)}$，那么就有$I_CR_L=\beta I_BR_L=Vcc$。也就是只要保证$I_B \geq I_C/\beta$或$I_B \geq Vcc/(\beta R_L)$时，晶体管就能进入饱和状态。

我们现在回到文章开头的例子：Vcc=12V，集电极电流为5个LED并联的发光电流，以单个20mA计算，$I_C=5\times20=100$(mA)。按照之前的取值，我们可以得到基极电流$I_B\approx(5-0.7)/10=0.43$(mA)（假设单片机为TTL电平输出），那么要求BJT的直流电压增益应该满足$\beta \geq I_C/I_B\approx233$。很多读者会有疑问，这个$\beta$值应该是很容易满足的啊，为什么还会出现前面所讲的故障呢？

我们看一下图4所示的曲线，这是我们常用的一款小信号BJT，型号为

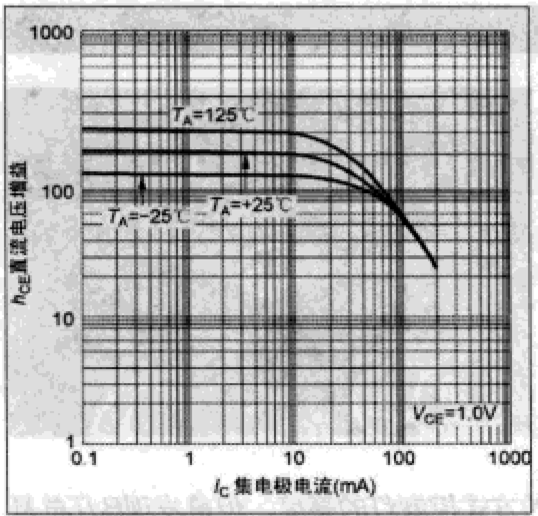


图4 直流电压增益与集电极电流之间的关系

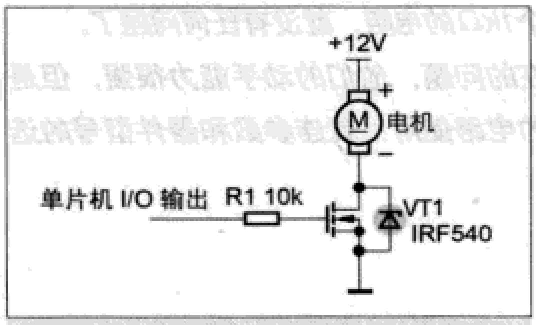


图5 案例2（用MOSFET驱动机器人上的电机）

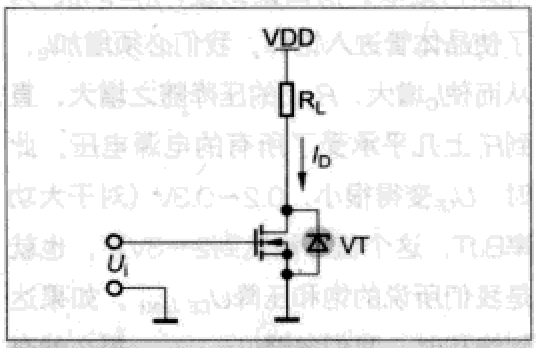


图6 MOSFET开关基本形式

MMBT3904的直流电压增益曲线。从图中可以看出，BJT的共射极直流电压增益h_{FE}（也就是通常意义下的β）不仅是温度的函数，而且与集电极电流有关。在一定的集电极电流范围内，h_{FE}可视为常数，室温下超过200，但是当集电极电流大于一定值时，h_{FE}就会急剧下降。产生这一现象的机理我们在这里就不讨论了。回到前面的例子，如果这个BJT为MMBT3904，集电极电流达到近100mA，此时的β（或h_{FE}）已经下降到只有40左右了（事实上对于其他型号的大多数小信号BJT都有相同结论）。我们反推一下允许的最大基极电阻值：$I_B \geq 100/40=2.5(mA), R_B \leq (5-0.7)/2.5=1.72(k\Omega)$。

而实际应用中，I_B并不是越大越好，因为I_B对外电路来说是没有实质作用的，它仅仅是维持BJT可靠导通的必要条件。I_B越大，驱动部分的损耗也就越大，从而降低了电路的效率。另外，I_B的大小不仅决定了BJT能否可靠地导通，同时影响BJT的开关速度，这点后面将会提到。

关于MOSFET的讨论

下面讨论MOSFET。很多初学者对于这种器件是相当陌生的，仍然先为大家介绍我遇到的一个案例。曾经有个同学刚刚接触机器人，他试图用MOSFET驱动机器人上的电机。当时他给我是这样描述的：不管单片机输出的是PWM波还是高电平信号，电机转速都很慢，并且MOSFET很烫，最终烧坏。当我看到图5时，我立刻明白，出现上述问题是因为他对功率MOSFET基本上没有概念，在他看来，似乎就和BJT的使用方法一样。

为了了解MOSFET，我们很有必要先掌握一些理论知识。这里仅讨论增强型MOSFET，并以N沟道器件为例。对于分立的增强型MOSFET，衬底一般和源极接到一起，且栅极与衬底间为氧化层，实际上是一层绝缘体。所以，栅源之间的电阻非常大，静态时，几乎没有电流流入栅极。这一点应该是大多数人都知道的。

如图6所示，给MOSFET的漏源之间加上正偏电压，当栅源电压U_i增加到一定值（即阈值电压V_{th}）时，开始有电流I_D流入漏极。随着U_i的继续增加，I_D增大，R_L上承受的电压也随之增大。当U_i足够大时，R_L上承受了几乎所有的电源电压，I_D也达到一定的值而不再增加。此时MOSFET进入线性区，漏源之间有一个较小的压降。但需要注意的是，这个压降和前面讲到的BJT的饱和压降不同，这个压降不是一个固定的值，而是与漏源之间的电流I_D呈正相关（几乎是线性）关系。这个电压可以这样计算：$V_{DS(on)}=I_D R_{on}$。其中，R_{on}为导通电阻，是我们在MOSFET的数据手册中常见的一个参数，它表征着MOSFET的导通损耗。

从上面的分析可以得知，MOSFET作为开关时，我们只要在栅源之间加一个足够大的电压，MOSFET就能充分导通。此时，MOSFET上的压降为漏源电流与导通电阻的乘积。不同功率的MOSFET，要求的栅源电压不一样。对于常见的TO220、TO252封装的功率MOSFET，通常取这个值为10～15V。而对于SOP8、SOT23等封装的低压MOSFET，这个值可以取得低一点。一般的数据手册会给出导通电阻随栅源电压变化的曲线。图7为常用的型号AO3400的低阈值功率MOSFET导通电阻随栅源电压变化的曲线图。

我们注意到，图中指定了漏源电流为5A，这暗示着MOSFET的导通电阻同时与漏源电流有一定联系。我们再看图8，同样来自于AO3400的数据手册。不难看出，在V_{GS}较小时，R_{on}并不是一个常数，而是随着I_D的增加而增大。原因就在于我们前面提到的，讨论导通电阻R_{on}时，应当使得MOSFET充分导通。漏源电流越

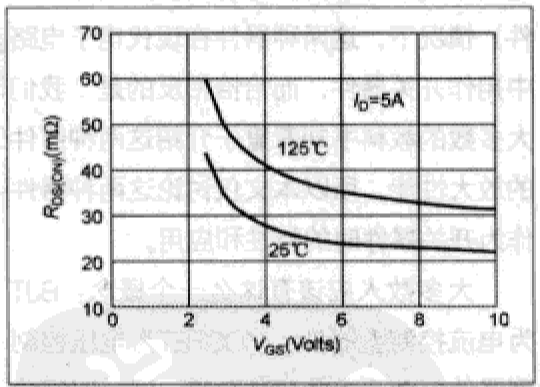


图7 导通电阻与栅源电压之间的关系

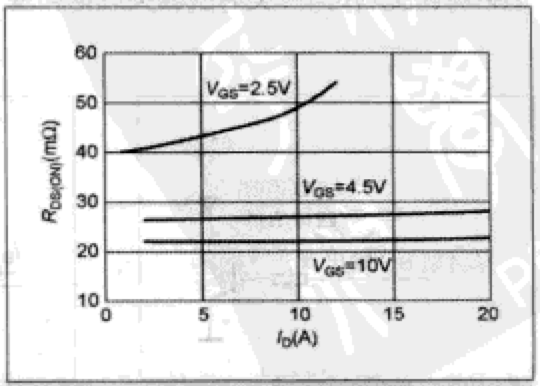


图8 导通电阻受漏源电流影响的曲线

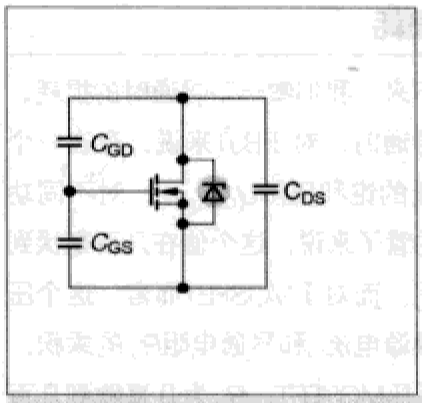


图9 考虑寄生电容时的MOSFET模型

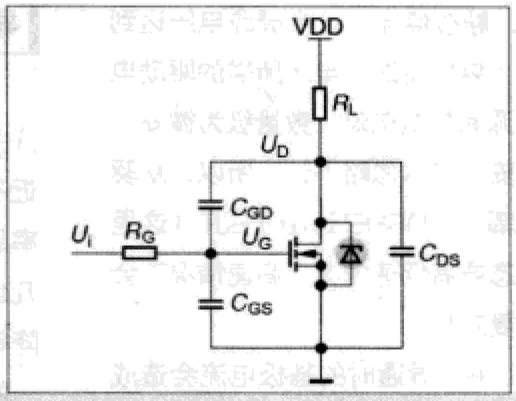


图10 考虑寄生电容时的MOSFET驱动电路

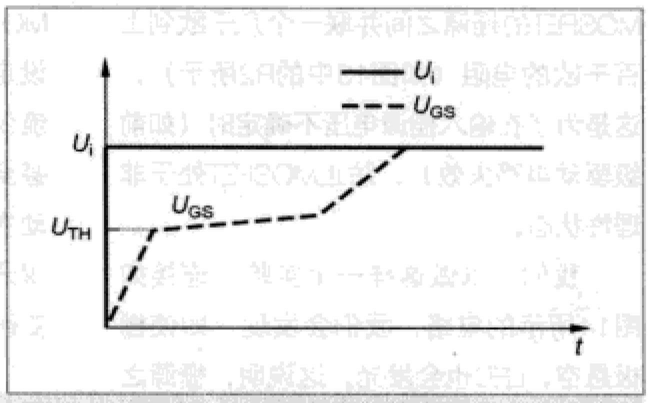


图11 脉冲驱动下MOSFET栅源电压上升曲线

大，使得MOSFET充分导通将会变得越困难，因为要求的栅源电压就会越高。所以，当栅源电压不是足够大时，MOSFET并没有充分导通，MOSFET并没有进入线性区，所以导通电阻也就会同时依赖于漏源电流。

那读者或许又会问，如果图5案例中的MOSFET改成低阈值的器件是不是就没有问题了呢？这也不一定，因为至此，我们还没有涉及MOSFET驱动电压该怎么加的问题。

前面我们说栅源之间的电阻大到几乎是绝缘体的电阻，那么栅极电阻R_G的取值很大或者很小应该都没有问题。而事实上，当对开关速度没有要求时，确实是这样的，对一般的MOSFET，R_G的取值从几欧姆到上兆欧姆都是可以正常开启的。图5的案例如果不需要PWM调速或者PWM的频率很低时，把IRF540换成低阈值的MOSFET的话，或许正常工作是没有问题的。

但是我们应该都清楚，MOSFET的栅极和漏源之间都是介质层，因此栅源和栅漏之间必然存在一个寄生电容C_{GS}和C_{GD}，沟道未形成时，漏源之间也有一个寄生电容C_{DS}，所以考虑寄生电容时，MOSFET的等效电路就成了图9所示的样子了。但是，我们从MOSFET的数据手册中一般看不到这3个参数，手册给出的参数一般是C_{ISS}、C_{OSS}和C_{RSS}，它们与C_{GS}、C_{GD}、C_{DS}的关系如下：

$C_{ISS}=C_{GS}+C_{GD}$（C_{DS}短路时），

$C_{OSS}=C_{DS}+C_{GD}$，$C_{RSS}=C_{GD}$

下面看一下这些寄生参数是如何影响开关速度的。如图10所示，当驱动信号U_i到来的一瞬间，由于MOSFET处于关断状态，此时C_{GS}和C_{GD}上的电压分别为$U_{GS}=0$，$U_{GD}=-V_{DD}$，C_{GS}和C_{GD}上的电荷量分别为$VT_{GS}=0$，$VT_{GD}=U_{GD}C_{GD}=V_{DD}C_{GD}$。接下来，$U_i$通过$R_G$对$C_{GS}$充电，$U_{GS}$逐渐升高（这个过程中，随着$U_{GS}$升高，也会伴随着$C_{GD}$的放电，但是由于$V_{DD}$远大于$U_{GS}$，$C_{GD}$不会导致栅电流的明显增加）。

当U_{GS}达到阈值电压时，开始有电流通过MOSFET（事实上，当U_{GS}还没有达到阈值电压时，已经有微小的电流流过MOSFET了），MOSFET上承受的压降由原来的V_{DD}开始减小，C_{GD}上的电压也会随之减小，那么，也就伴随着C_{GD}的放电。由于C_{GD}上的电荷量$VT_{GD}=V_{DD}C_{GD}$较大，所以放电的时间较长。在放电的这段时间内，栅极电流基本上用于C_{GD}的放电，因此栅源电压的增加变得缓慢。

放电完成后，U_i通过R_G继续对C_{GS}和C_{GD}充电（因为此时MOSFET已经充分导通，相当于C_{GS}和C_{GD}并联），直到栅源电压达到U_i，开启过程至此完成。图11的曲线很好地描绘了导通过程中U_{GS}随时间变化的曲线。需要注意的是，由于驱动提供的不是电流源，所以实际上的曲线并非直线，图11所示仅代表上升趋势。

同时，由上不难看出，R_G越大，寄生电容的充电时间将会越长。显然，R_G太大时MOSFET不能在短时间内充分导通。在高速开关应用中（如D类功放、开关电源），这个阻值一般取几欧到几十欧。然而，即使是低速情况下，R_G也不宜取得太大，因为过大的R_G会延长电容充电的时间，也就是MOSFET从关断到充分导通的过渡时间。这段时间内，MOSFET处于饱和状态（放大区），管子将同时承受较大的电压和电流，从而引起较大的功耗。但是R_G如果取得太小或者直接短路的话，在驱动电压到来的一瞬间，由于寄生电容上的电压为零，前级需要流过一个很大的电流，造成对前级驱动电路的冲击。

现在我们应该很清楚图5案例中的错误之处了。第一，单片机的输出电压不足以使得IRF540这种管子充分导通，因此图中的管子不是开关，而更像一个放大器，第二，单片机的I/O驱动能力不能满足PWM情况下导通速度的要求，即使换成低阈值MOSFET，开启和关断的时间太长，MOSFET在这个过渡阶段同样需要承受很大的功耗。

图12所示为高速开关应用中常见的MOSFET驱动电路，以一对互补的BJT构成射随器的形式满足驱动电流的要求。其中，VT1用于开启时对寄生电容的充电，VT2用于关断时对寄生电容的放电。有时候我们需要得到更快的关断速度，通常在栅极电阻R1上并联一个快恢复二极管，这样的话，放电回路将经过这个二极管而不是电阻。这样一个电路用到前面提到的案例中，就没有问题了。

而在实际应用中，我们通常还会在

MOSFET的栅源之间并联一个几千欧到上百千欧的电阻（如图13中的R2所示），这是为了在输入栅源电压不确定时（如前级驱动电路失效），防止MOSFET处于非理性状态。

我们可以做这样一个实验：连接如图14所示的电路，我们会发现，即使栅极悬空，LED也会发光。这说明，栅源之间出现了高于阈值的电压，产生这一电压的原因是寄生电容上的残留电荷。残留电荷使得U_{GS}高于阈值电压，但又不足以使MOSFET充分导通。结果是MOSFET工作在放大状态（饱和区），管子承受很大的功耗，从而造成器件的损坏。这种现象更容易发生在低阈值电压的MOSFET中。为了防止这种情况发生，往往通过栅源间的并联电阻泄放寄生电容上的残留电荷。

以上讨论了BJT和MOSFET的相关内容。在现代的电子电路中，BJT通常作为小信号开关管使用，而在功率开关中，MOSFET占据了绝大部分的市场。要了解其中的原因，我们结合实例对这两种作为开关器件做一个比较。

驱动损耗

首先，已经提到过，BJT为电流控制型器件。作为开关时，开关电流的增加将会导致基极电流成比例地增加，这个比值最大不超过既定电流下的β，而不幸的是，大电流下，这个β往往比较小（一般为几十甚至小于10），那么基极驱动电流带来的损耗将变得十分可观。如果换成MOSFET，静态情况下，当栅源电压达到设定值时，要维持这一电压所需的驱动电流仅为栅源间的漏电流，数量级为微安，甚至是皮安，可以忽略不计。所以，从驱动损耗来看，MOSFET远小于BJT（这里仅分析静态或者低速情况，高速情况下会变得比较复杂）。

同时，BJT导通时的基极电流会造成发射结电压钳位。我们来看一下图15。电路设计的初衷是这样的：当输入信号U_i为高电平时，VD1发光，VD2熄灭，当输入信号U_i为低电平时，VD1熄灭，VD2发光。也就是说，我们希望得到一组互补的输出信号。但是仔细看图，我们会发现，电路存在严重的问题。那就是当U_i为低电平时，VT1截止，电流路径为+5V-R2-VD1-R4-VT2基极，此时VT2导通，VD2发光。然而，VT2导通的同时，会将基极电压钳位在1V左右，将会有电流流过VD1，VD1很可能不能完全熄灭。实验证明，如果VD1为一个0805封装的普通发光二极管，即使图中的$R4$取到10kΩ，VD1也会存在微亮。这个电路如果用来驱动的是光耦，而光耦后接其他驱动电路的话，很可能造成严重的故障。

这便是基极电流造成的另一个弊端，如果这个电路中的VT2换成MOSFET的话，问题就解决了，但是需要注意MOSFET的参数（要求MOSFET的阈值电压比较低），并且根据前面提到的内容适当选取R1和R4的阻值。

导通损耗

接下来，我们看一下导通时的损耗。开关管导通时，对于BJT来说，存在一个近乎常量的饱和压降$U_{CE(sat)}$，对不同功率级别的管子来说，这个值在几百毫伏到几伏之间。而对于MOSFET而言，这个压降等于漏源电流I_D和导通电阻R_{on}的乘积。一般的低压MOSFET，R_{on}为几毫欧到几百毫欧，而高压MOSFET的这个值约几百毫欧到几欧。

下面举一个例子：某个应用中，需要开关管通过1A的电流，电源电压为5V。我们分别选择SOT23封装的BJT和MOSFET，BJT型号为SS8050（江苏长电），MOSFET型号为SI2302（VISHAY）。查找数据手册可知，SS8050的饱和压降$U_{CE(sat)}$约0.5V，SI2302在栅源电压5V时的导通电阻为40mΩ。那么两者的功耗分别为如下：对于BJT，$P_{VT}=U_{CE(sat)}I_C=0.5$（W）（对于SOT23能否承受这个耗散功率笔者表示质疑），对于MOSFET，$P_M=I^2R_{on}=0.04$W。显然，从导通损耗的角度上来说，MOSFET也远远优于BJT。

正是由于功率MOSFET具有极低的导通电阻，因此经常用作电源开关取代机械开关，同时也广泛用于防反接保护电路替代二极管。但是我们需要特别注意的是，用MOSFET作开关或防反接保护器件时，不要忽视MOSFET内部寄生二极管的影响。

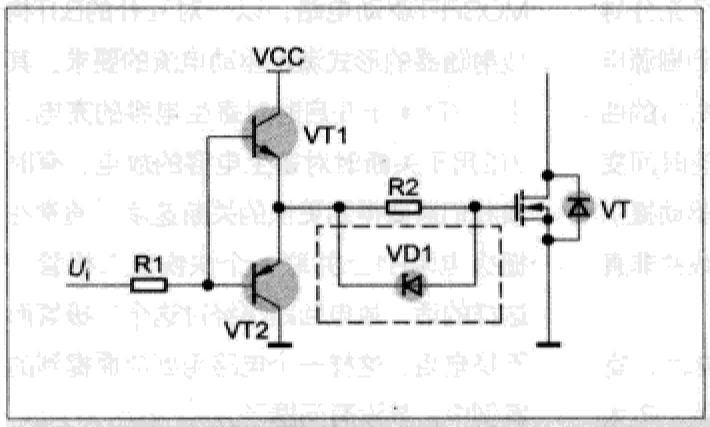


图12 常用的高速驱动电路

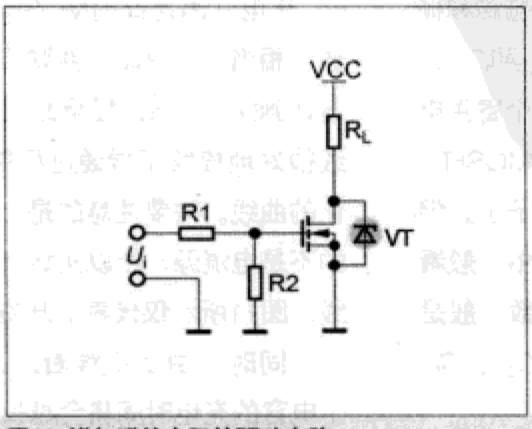


图13 增加泄放电阻的驱动电路

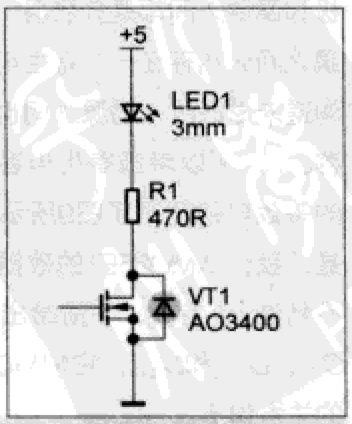


图14 残留电荷导致MOSFET开启的实验电路

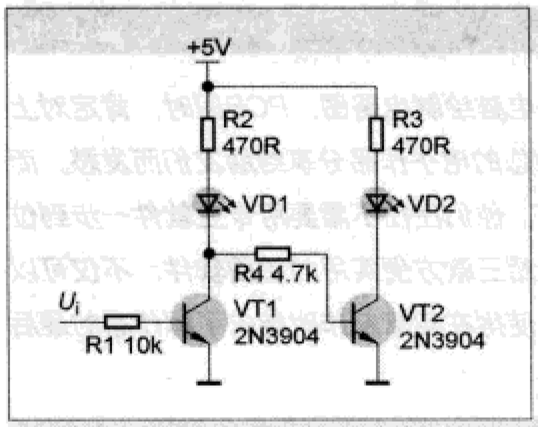


图15 BJT的B、E结钳位造成的故障

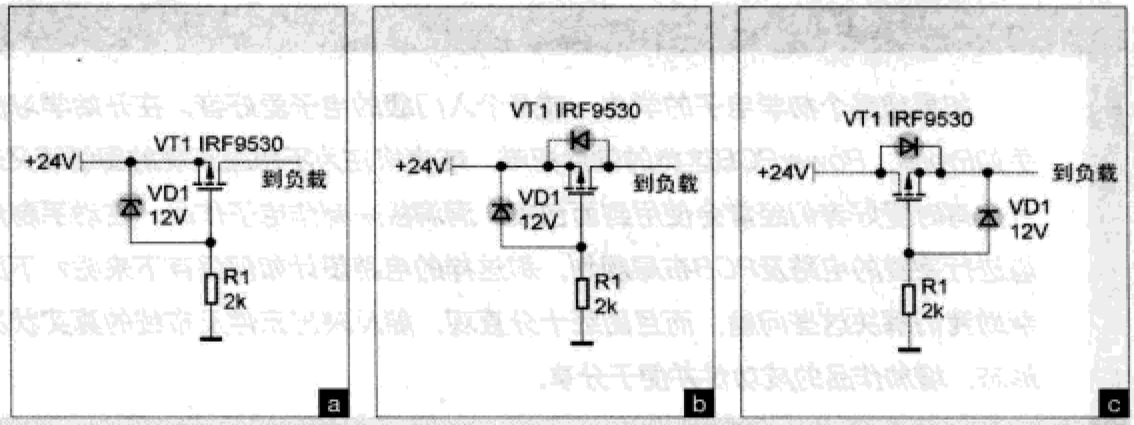


图16 MOSFET用于防反接保护电路

如图16（a）所示，我们在电路的电源和负载之间串接一个P沟道的MOSFET，当电源极性没有接反时，齐纳二极管VD1使VT1的源极和栅极之间电压稳定在12V左右，VT1导通，负载正常供电。当电源极性接反时，VD1正偏，MOSFET的源极和栅极间得到一个约-0.7V的电压，M1截止，电源与负载断开。

以上的分析听起来似乎没有问题，但是如果我们再看一下图16（b），问题就一目了然了。图16（b）中画出来MOSFET漏极和衬底间的寄生二极管，正是由于这个二极管的存在，使得我们希望得到的保护机制完全失效。当电源极性反接时，VT1内部的寄生二极管恰好正偏导通，使得负载和电源之间形成了我们不希望得到的通路。

图16(c)给出了防反接保护电路的正确形式。当电源极性正确时，电流经过VT1内部的寄生二极管,使VD1反偏击穿，VT1的源极和栅极之间得到+12V左右的电压，VT1导通。当电源极性接反时，VT1内部的寄生二极管也反偏截止，不存在任何从电源到负载的回路。

上述讨论的都是MOSFET用于防反接保护的情况，但是如果用作电源开关，情况和上面讨论的恰恰相反，图16（c）中，即使关断VT1（R1的接地端改为接+24V），寄生二极管仍然能够为负载提供供电通道。这个时候，应该选用图16（b）中的电路形式，关断VT1时，寄生二极管是反偏的，电源到负载没有通路。

图17给出了MOSFET用作电源开关时的完整电路。U_i为来自MCU或者数字逻辑输出的TTL电平（或者CMOS电平）信号，当U_i为高电平时，VT1导通，R2、R3的分压使得VT2源极和栅极间得到12V左右的电压，VT2导通；U_i为低电平时，VT1截止，VT2的源极和栅极间没有电压差，VT2截止，此时，R2用于泄放寄生电容上的电荷。对于不同的电源电压，适当改变R2、R3的阻值，以满足VT1导通时VT2的源极和栅极之间电压保持在10～15V（对于低阈值MOSFET，可以取得低一些）。

开关频率

再来看最为重要的一点，那就是开关速度。这一点对于没有器件物理知识的读者来说，讨论起来会比较困难，所以这里不涉及具体的机理，仅说一下结论性的东西。

我们知道BJT饱和时，两个PN结都是正偏的，对于NPN型，集电极电流主要是发射区的电子先扩散到基区，然后再漂移到达集电区被收集而形成的。当BJT工作在饱和状态时，注入的基极电流I_B往往大于临界饱和时所需要的基极电流I_{BS}。那么，集电区不能收集到从发射区扩散到基区的全部电子，基区就会有电子的积累，或者说基区存储有少子电荷VT_{BS}。当外加基极驱动电压U_i突变为0时，VT_{BS}不能马上消散。只要VT_{BS}没有消散，集电极电流就一直存在，BJT不能马上关断。为了关断BJT，必须从基极抽取存储的少子

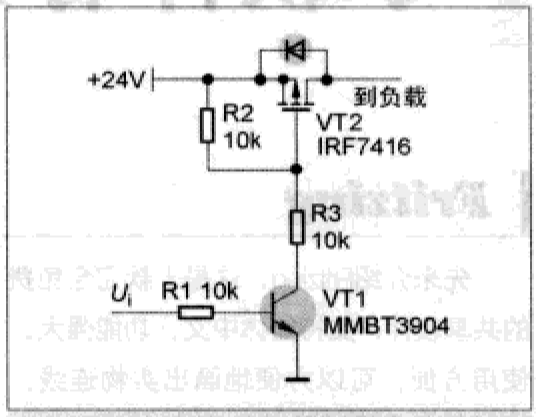


图17 MOSFET作为电源开关的完整电路

电荷VT_{BS}。这个抽取过程所需的时间就是存储时间，对一般的BJT，这个时间在微秒级，严重影响了BJT的关断速度。而对MOSFET，开启与关断的时间仅仅是寄生电容充放电的时间，这个时间很容易控制到纳秒级，甚至更小。

所以从开关速度来说，BJT也远远不及MOSFET。这也是造成现代功率电子电路中的功率开关几乎全部被MOSFET替换的最主要原因。

二次击穿

还有一点就是BJT存在二次击穿问题，而MOSFET不容易出现这种问题。由于二次击穿的物理机理比较复杂，这里就不详细讨论了。

以上是笔者根据自己的经验对BJT与MOSFET作的一点介绍，希望对读者有用。笔者水平有限，如有不当或者错误之处，敬请读者批评指正。

◇温正伟

如果您是个初学电子的学生，或是个入门级的电子爱好者，在开始学习使用电脑绘制电路图、PCB图时，肯定对上手如Protel、PowerPCB这类的软件犯难，或者您在为不想画正规的图纸而又想把您的电子作品分享给朋友们而发愁。而且，有时爱好者们经常会使用到面包板、洞洞板来制作电子作品，在动手制作前，他们往往不需要用专业软件一步到位地进行完整的电路及PCB布局规划，那这样的电路设计如何保存下来呢？下面介绍三款方便实用的绘图软件，不仅可以帮助我们解决这些问题，而且图纸十分直观，能反映出元件及布线的真实状况，使得在实际制作时能先了解作品的最后形态，增加作品的成功性并便于分享。

小软件有大用处 ——三款适合电子爱好者的软件

Fritzing

免费软件，下载地址：http://www.fritzing.org/

先来介绍Fritzing，这是一款完全免费的共享软件，支持简体中文，功能强大，使用方便，可以方便地画出实物连线，而且有非常特别的元件库，像Arduino、xBee等成品模块都有，可自行定义面包板的尺寸规格，十分适合爱好者使用。先来看一个Arduino的实例图，如图1所示，是不是超直观呀？

这款软件如何使用呢？下面以一个555时基电路的例子简单说明一下。

首先在文件菜单里新建一个项目（图2），项目默认的电路板是使用面包板。在这个例子里，我们要使用的是洞洞板，所以需要先删除面包板（图3）。

在元件面板中的面包板视图中选洞洞板，并将其拖拉到工作区域，同时可以根据你实际的洞洞板大小进行尺寸设置。然后把工作区切换到原理图界面，进行元件的添加。

使用元件搜索功能，输入555，查找到555元件，拖放到工作界面，并在指示栏中修改参数，选项封装形式为DIP（图4）。添加别的元件后，就可以进行元件的布置了。

选中元件右键单击后有各种操作项，如旋转（图5）等。选择需要连接的元件引脚，软件有自动连线功能，十分方便。连接完电路上的所有的元件后就可以得到一份绘制好的原理图了。

最后把界面切换到面包板工作界面，这时元件及连线的实物图就都有了，只需要布置和整理，就可以得到理想的效果图了（图6）。

图2

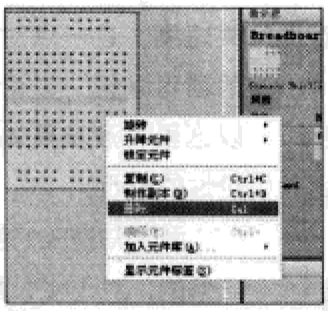


图3

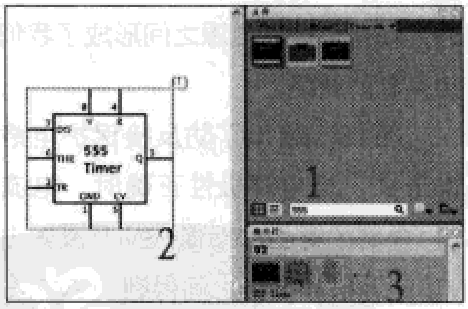


图4

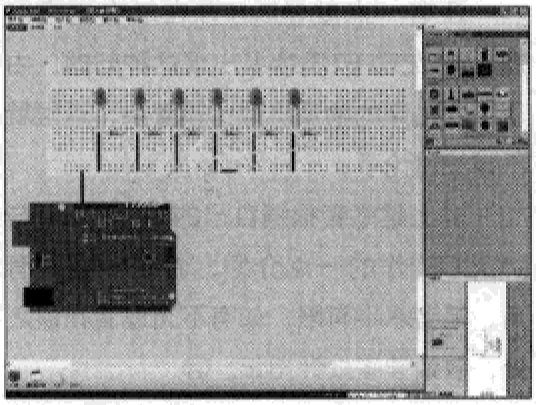


图1 Arduino实例图

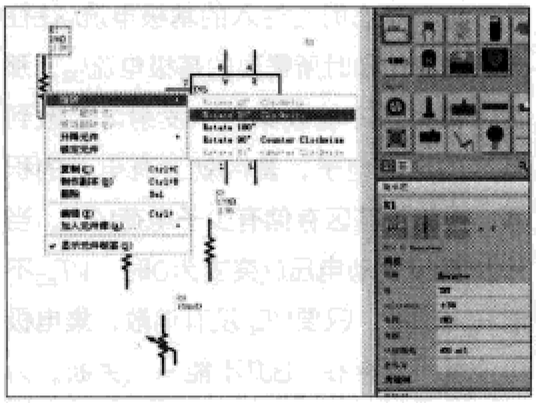


图5

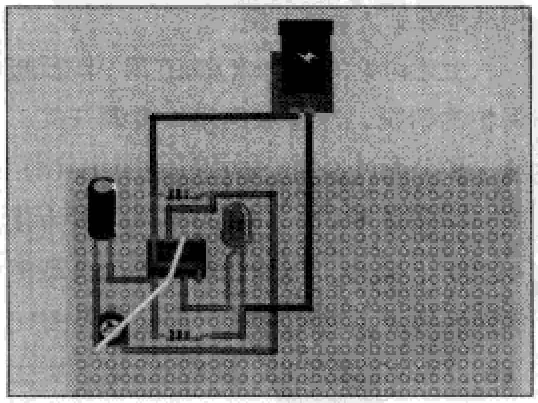


图6

Diy Layout Creator

汉化版本下载地址：http://www.cdle.net/article-144-1.html
英文原版本下载地址：http://diy-layout-creator.en.malavida.com/

Diy Layout Creator功能比Fritzing简单，适用于爱好者在制作小的电子作品时对电路元件进行预先布局，避免了在实际制作时因为元件放置不当而增加了制作难度的问题，也可以用于制作电路连线图或PCB示意图，用于爱好者间的相互交流，但不适于绘制电路原理图。目前的免费版本中能选择的元件还比较少，界面如图7所示。

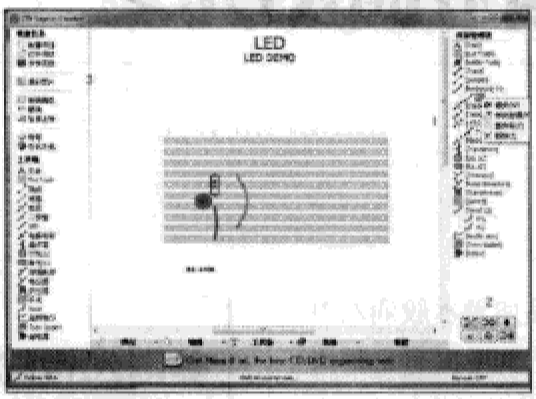


图7 软件界面

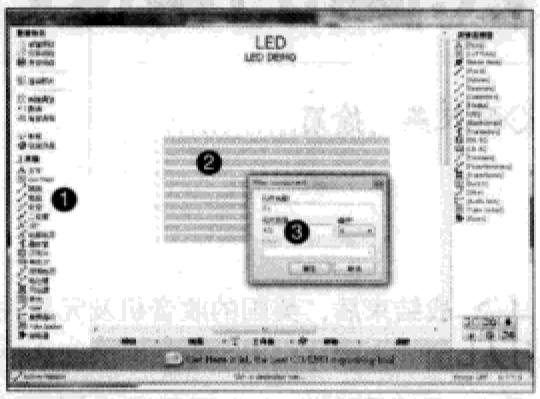


图8 放置元件

下面我们来试着用它画一个简单的LED连接电路。首先打开软件，按左边栏的快速任务栏中的新建项目，在弹出项目选择框里，有三种电路板形式可以选，设置大小和项目名称，然后就可以电路板上放置所需元件，在图8中的“1”处选项元件，在“2”的位置上放置元件，放置元件后可输入元件的参数。

元件放置好后，可以在图8的“1”资源管理器上选择元件，进行参数更改，也可以用“2”中的工具对元件进行移位、旋转等操作，全部完成后，可以用“3”的渲染图片工具，得到更理想的效果图，用于分享制作心得。

LochMaster

试用版下载地址：http://www.abacom-online.de/uk/html/lochmaster.html

LochMaster也是一款用于画洞洞板的软件，图9所示的是它的软件界面。我个人感觉其功能及实用性都比以上介绍的两款好，不过是款收费软件，试用版本有限制，有需要的朋友可以上网找别的版本使用。在这里，笔者只简单介绍下一些它的实用功能。图10中的“1”是LochMaster软件是元件库，都是以实物形状为主，元件库分类比较丰富，每类元件也有多种实物封装，元件的尺寸比例和实物相当，使得绘制的图纸十分直观，出来的效果有如照片一般。“2”中的工具栏有多种绘制工具，可以绘制连线、焊点等。图中“3”所指的位置是视图切换工具，可以切换到实物图、顶面图、底面图等多种显示方式。图11所示的是实物的顶面视图，元件和焊点都一目了然，在制作前先规划好元件位置和连线方式，这样就会使制作变得快捷，而且出错的机会也变少。图12是底面视图，有了这项功能，这款软件就更人性化了，这是众多同类软件所没有的。

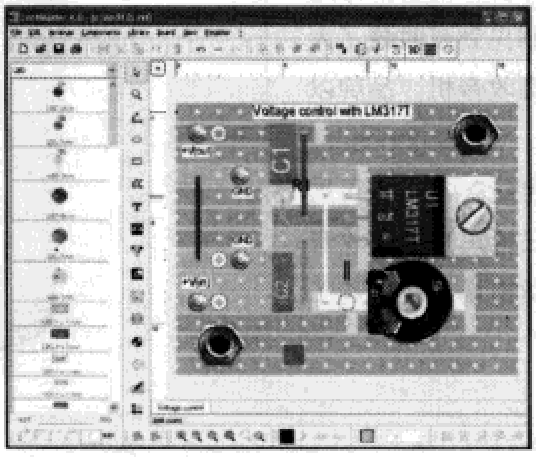


图9 LochMaster软件界面

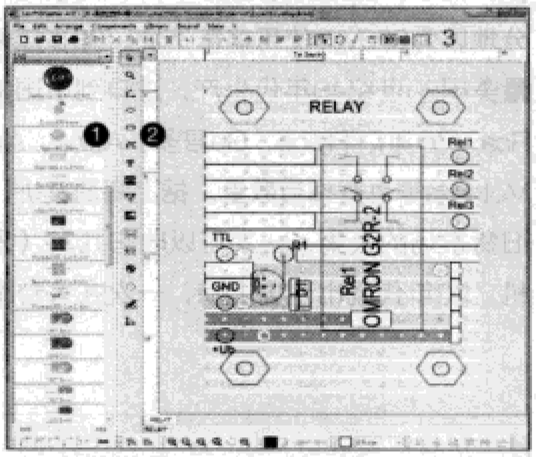


图10 黑白线图

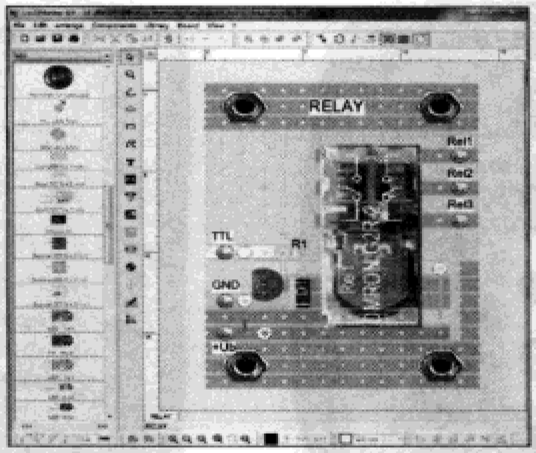


图11 实物视图

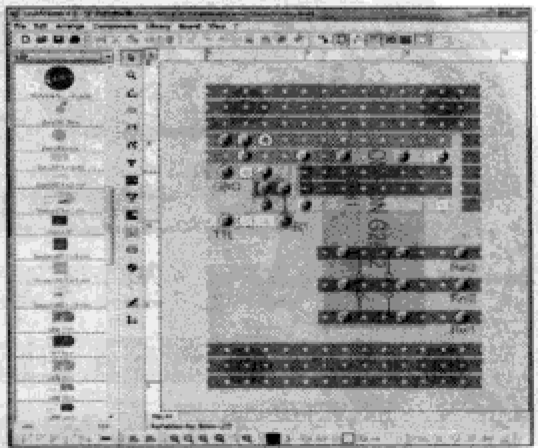


图12 底面视图

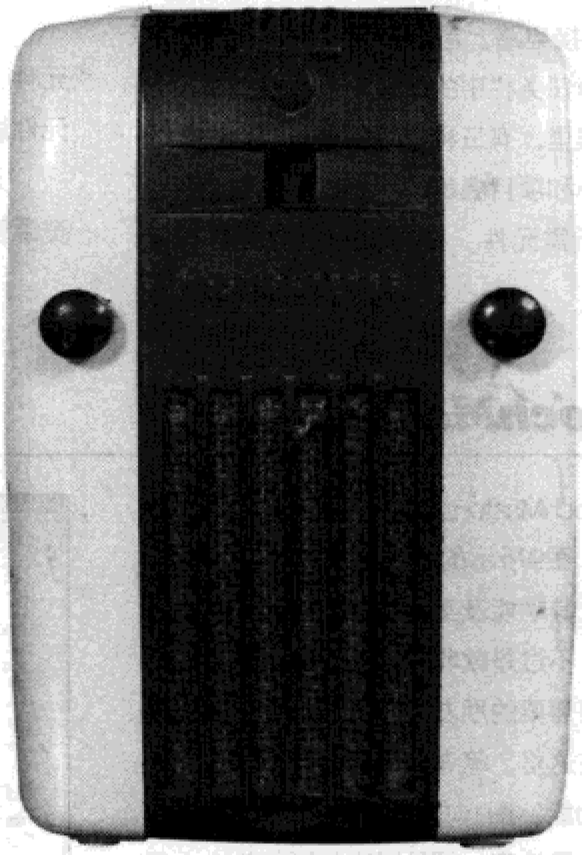
民国时期收音机状况之一瞥（三）

◇陈汉燕　徐蜀

抗战结束后，美国的收音机及元器件产品如潮水般涌入中国，占据了国内90%以上的市场份额。其中又有三种情况：一是成品机进口，二是引进生产线进行组装，三是各地小作坊、无线电行利用进口散件装配。这方面的相关文献虽有一些，但记载并不详细，抵牾缺漏亦不在少数。故本文主要以手头实物为依据，进行梳理。

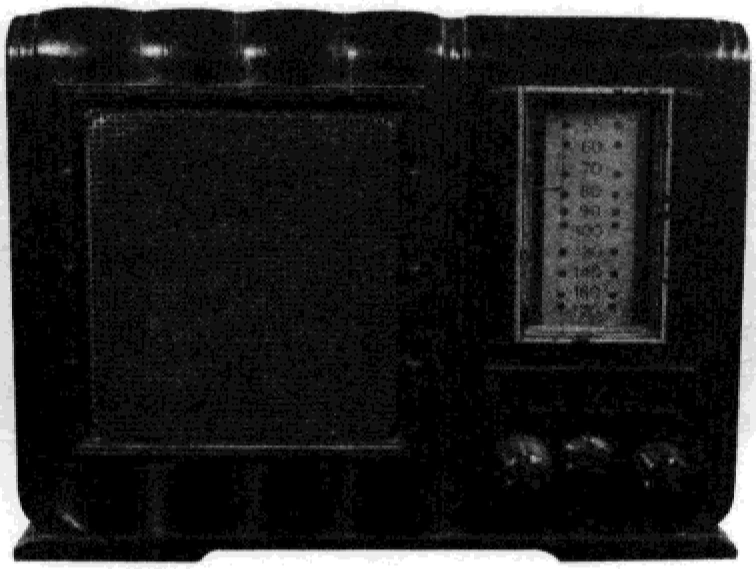
先说第一种情况，进口的成品机，这部分数量最大。美国的收音机生产管理比较严格，对成品机的标识极为详细，如品牌、型号、产地等。输入中国的套件，组装后尽管是全套美件，也不得标注美国制造，一定要注明中国某地装置。因此美国的成品收音机很好辨认。需要注意的是，美国在二战结束后，大概为了消耗掉剩余电子管，生产了大量五灯串丝机，机箱胶木材质的居多，由于美国通行电压为110V，比较适应串丝机，而中国大部分地区为220V，使用非常不便。30多年来我眼见到或收藏了大量美国20世纪40年代生产，进口到中国的此类收音机。品牌以Rca、Zenith、Philco、Ge居多，Airline、Airking、Westinghouse、Motorola等也有相当数量。据上海朋友讲，20世纪90年代末每周旧货市场的大集，一次可以收它几车（人力三轮车）美国收音机。90年代我出差去上海，一次在东台路旧货市场就曾采购了

美国20世纪40年代生产的Westinghouse收音机

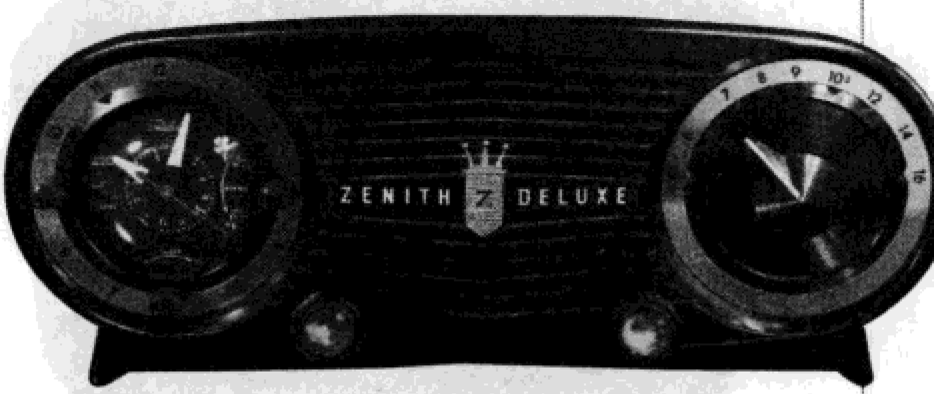


美国20世纪40年代生产的Ge收音机

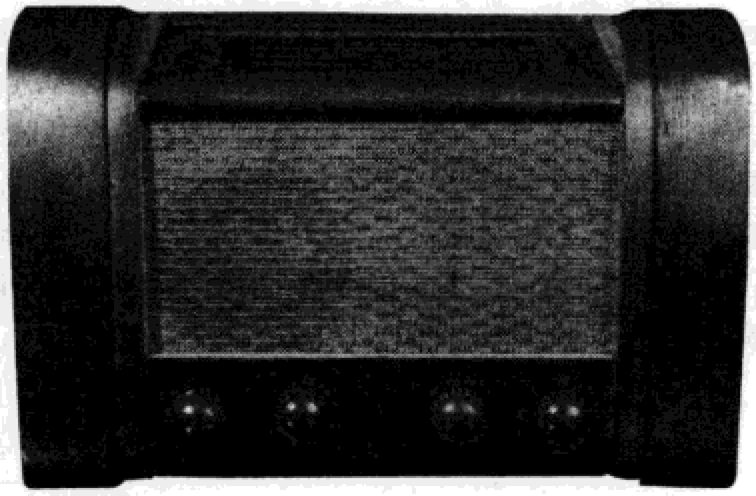
美国20世纪40年代生产的Airking收音机



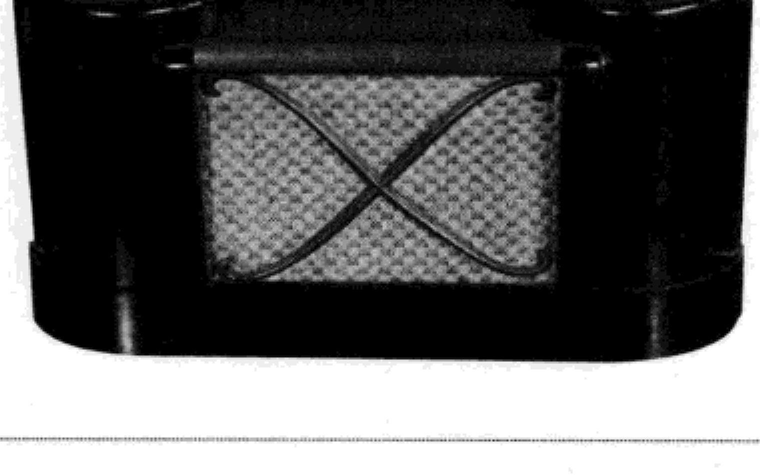
美国20世纪40年代生产的Zenith收音机



资源牌台式收音机



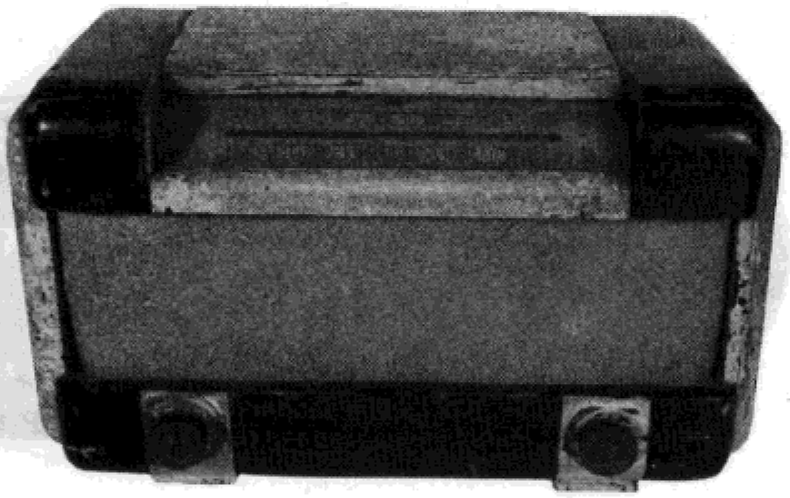
Stewartwarner收音机



20多台美国老机。北京虽然比上海差许多，但我前后也收购到几十台美国收音机。另外，近年关注eBay上美国收音机的行情发现，即使现在，美国20世纪40年代生产的收音机还是多如牛毛，而且保存得比较完好。

再说说第二种情况，国内引进美国生产线组装的美国收音机。抗战胜利后，国民政府中央无线电器材有限公司从美国引进了部分收音机生产线，以及大量收音机套件，准备批量组装美国收音机。据史料记载和实物印证，中央无线电公司天津厂、中央无线电器材有限公司南京厂，分别有一条较大规模生产线，生产美国收音机。中央无线电器材有限公司上海修配厂，有无生产线或规模之大小，不得而知。引进美国收音机套件的品牌，过去的说法是Philco和Detrola，Rca则因资金问题未能引进。但从我的收音机藏品来看，似乎有误，Rca不但引进了，而且产量很大，并且，南京无线电厂1950年生产的红星501型收音机也是用Rca56X套件组装而成的，并非过去所认为的来自Philco46-806。具体情况大致如下：20世纪40年代后期，南京厂先后组装生产过Rca56X型、Philco46-806型胶木机壳，以及Philco 2-806型木制机壳收音机，天津厂先后组装生产过Rca56X型、Philco46-806型胶木机壳收音机。民国后期引进的美国收音机套件，有不少未及使用便解放了。如天津厂引进的美国Detrola机型，1949年至1953年期间才组装生产，就是京津一带流行较多的灰色铁壳“中央电工二厂”收音机，还遗留有少部分Rca56X机芯，原配胶木机箱不够用，工厂自制了部分木制机箱，体积稍大于胶木机箱的Rca56X。南京厂仅剩余部分Rca56X套件，1950年旧物利用，组

"北平德商兴华公司"组装的美式收音机

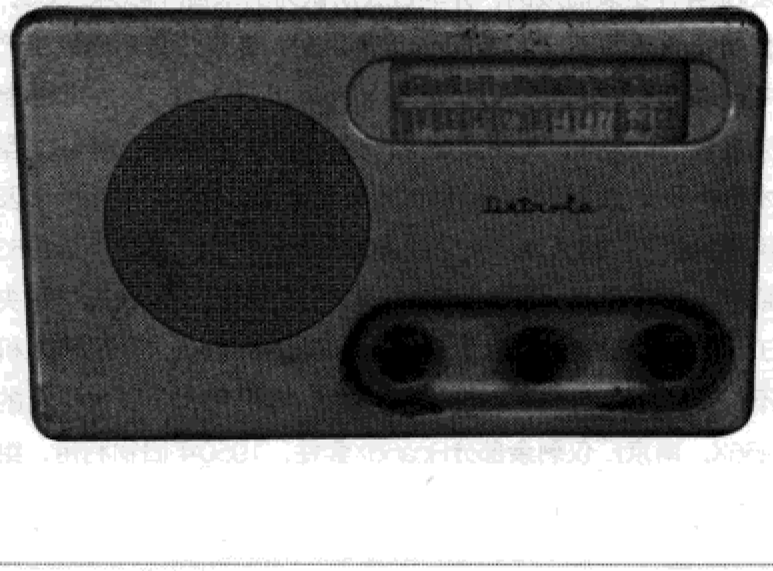


装成红星501型收音机，度盘、机箱上的英文改成了中文，扬声器也换为南京无线电厂飞马牌5英寸的。

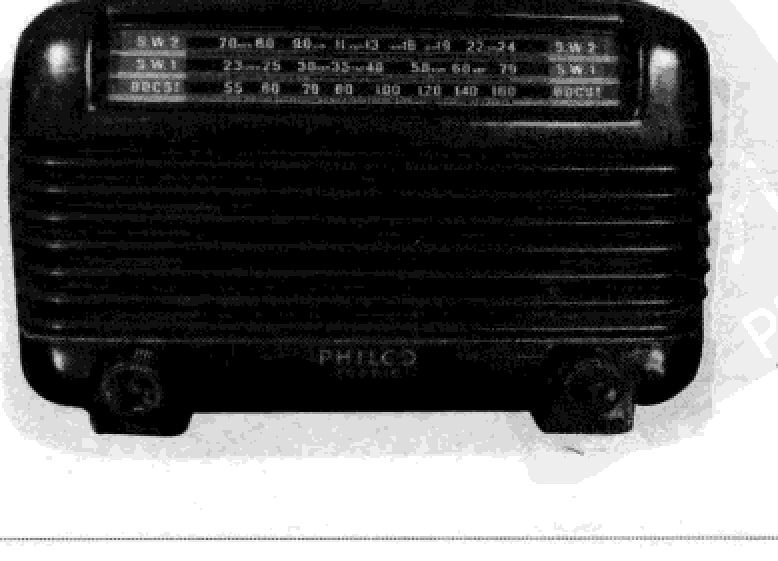
上海修配厂只生产了几种资源牌台式、落地收音机，数量极少，所用元器件据说为荷兰飞利浦机型，与我手头一台飞利浦收音机结构极为相似。但因手头资料欠缺，不敢妄下结论。

对比以上美国原型机和国内组装机可以发现，后者所用元件基本为美国货，组装工艺及调试均按照美国标准，质量应该不差。而且不少机型充分考虑了中国的具体情况。如Rca56X型收音机，美国国内同期产品多数只有中波，而且是串丝机，国内组装机则增加了电源变压器和短波。Philco2-806虽然还是串丝机，却有一个降压器，比较适合中国的220V电压。其实，美国人二战后生产的许多收音机都考虑到了输出至中国，串丝机都有降压器，可以110V、220V两用。据我的藏品和过眼的情况观察，当年进口的同类原型机数量要远远超过组装机，因此后者的收藏价值要大大高于前者。前些年一些不懂行的商贩，收到组装机后，特意将中文标记去掉，以冒充原装美国货，认为能卖更高的价格。结果是画蛇添足，把数量少得多、价值高得多的组装机标记给毁坏了。

天津无线电行组装的Detrola收音机

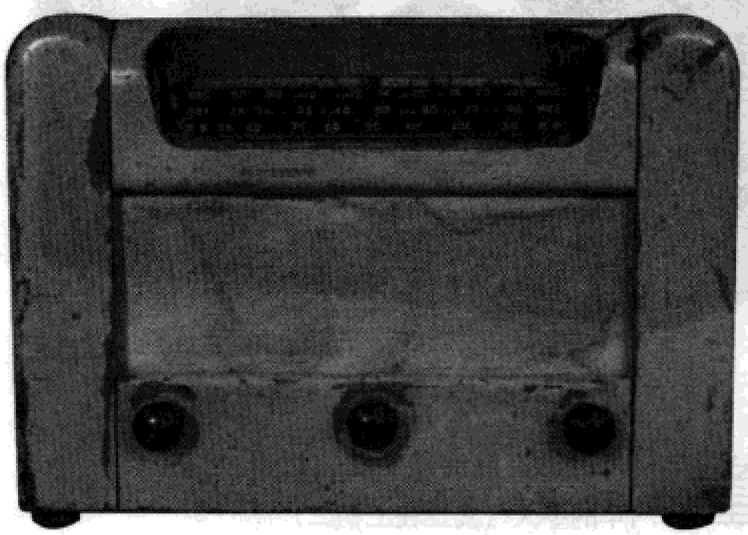


天津厂和南京厂组装的Philco46-806收音机



南京厂组装的Philco2-806收音机

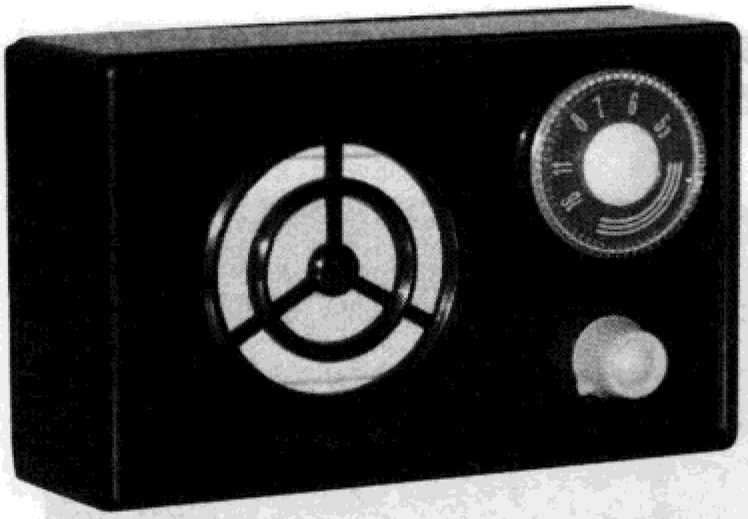
中央电工器材第二制造厂组装的木壳Rca收音机



资源牌收唱两用机

最后说一下第三种情况，各地小作坊、无线电行利用进口散件装配的收音机。20世纪40年代后期，美国收音机元件进口到中国的非常之多。各地，尤其是上海、天津、北京等大城市，不少无线电作坊、电器行都曾大量组装。不过这类组装有别于生产线的规模生产，机箱的款式、内部的元器件都无一定之规，不少机器是美国元件与国产元件混合使用。我就收藏了不少此类收音机。如我有一台“中央二厂”铁壳收音机的原型机Detrola，拆出机芯发现，是天津某无线电行组装的，其时，安装了美国生产线的天津无线电厂反而没有生产Detrola。即使到了20世纪50年代，也还有不少作坊在继续利用美国元件组装收音机。有意思的是，我收藏了一台标牌为“北平德商兴华公司‘德国制’”的组装机，其实所有元件也都是美国货。

以上是民国时期收音机状况的一个大概轮廓，从中可以看出，1949年之前的中国，由于工业基础十分薄弱，再加上连年战乱，民族收音机工业实在太弱小，弱小到基本上可以忽略不计。但由于舆论宣传的特殊作用，广播的发展并不太落后，因此社会上收音机有相当的保有量，只不过几乎都是舶来品。所以从某种意义上说，中国早期广播与收音机工业的发展是不平衡的。或者说，中国早期的收音机工业（国产收音机）史，不能替代中国早期的收音机发展史（社会广泛使用的收音机，多数是进口货），后者是基于广播的发展状况而存在的，发展到一定水平的广播业，必然会有相应数量的收音机。本文附图系20世纪40年代中后期国内组装或进口的美国收音机。



◇赵春云

重温童年 DIY怀旧版的三管机

童年时代时常在脑海里回忆，记得1974年的冬天（我正在上初二），同桌见我经常看一些无线电方面的课外书，就和我谈起说她爸爸是一个织袜厂的老电工，家里有很多《无线电》杂志，我听到后非常高兴。转天，她就给我带来几年的《无线电》杂志，我如获至宝（因为那个年代信息是很闭塞的）。当年按照《无线电》杂志里的电路做了好几台来复再生式半导体收音机，给我印象最深的是1967年第1期34页《推挽输出式半导体三管机》的制作，如图1所示，当时在校办工厂和几个同学按照此图组装了一台，但是试验了几次都没响，后来再次检查元器件发现3AG11的管子坏了（当年买的都是副品三极管，正品三极管作为一个农村的孩子是根本买不起的），经过一番周折，终于安装成功了，高兴的心情无法形容，遗憾的是由于当年没有机壳，只好把三管机放在一个藕粉盒里收听节目。

几十年过去了，如今偶尔得到了一个当年可望不可求的原始机壳，如图2所示，便萌发了弥补当年因为没有机壳留下的遗憾，为此重新制作一台当年的“推挽输出式半导体三管机”，那感觉仿佛又回到了我的童年。

参照如图3所示制作一块电路板，电路板的尺寸要与机壳的内径大小相吻合，尺寸选好之后，先将主要的定位孔定位钻孔，如图4所示，再将元件的分布定位打

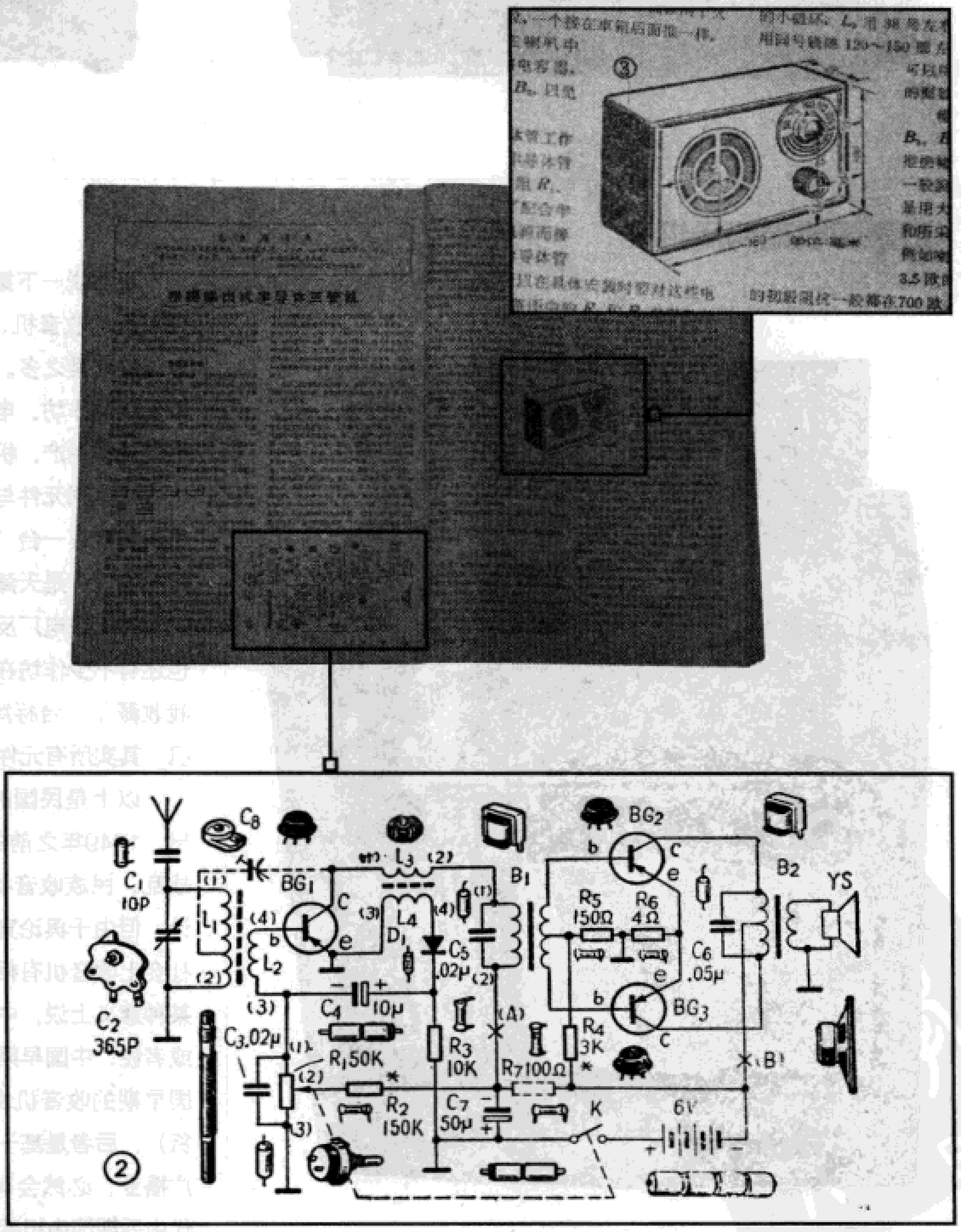


图1 1967年第1期《无线电》杂志刊登的《推挽输出半导体三管机》文章

孔，如图5所示，最后在元件孔上安装空心铆钉，如图6所示。

所选元器件基本上都是20世纪60年代的产品（阻容件上有生产日期），安装之前一定要严格筛选，特别是电容和三极管。电容器由于年久容量降低或没有容量，有时候十几个电容不一定筛选出一只好的。

高频变压器的制作，高频变压器选用电子管收音机里的中频变压器中的一个回路电感，将其分解，如图7所示。把两个电阻的引线剪断后用AB胶固定在高频变压器的外沿上，作为高频变压器的引脚，如图8所示。将骨架上的原始线圈拆掉，如图9所示。绕制新的高频变压器，参照如图1所示的电路图，L3用0.07mm的漆包线绕200匝，L4用0.07mm的漆包线绕300匝，如图10所示。绕制完成后将漆包线

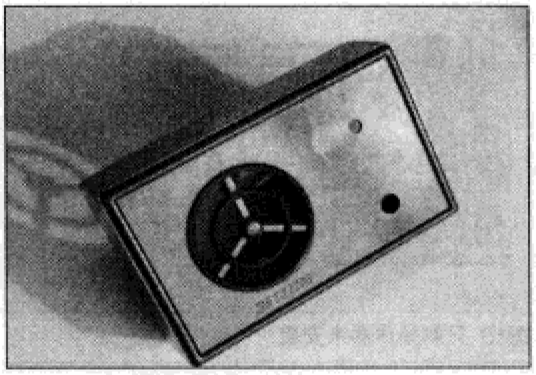
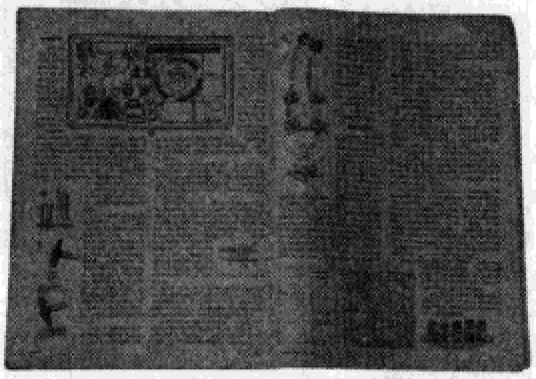


图2 收音机三管机的原始机壳



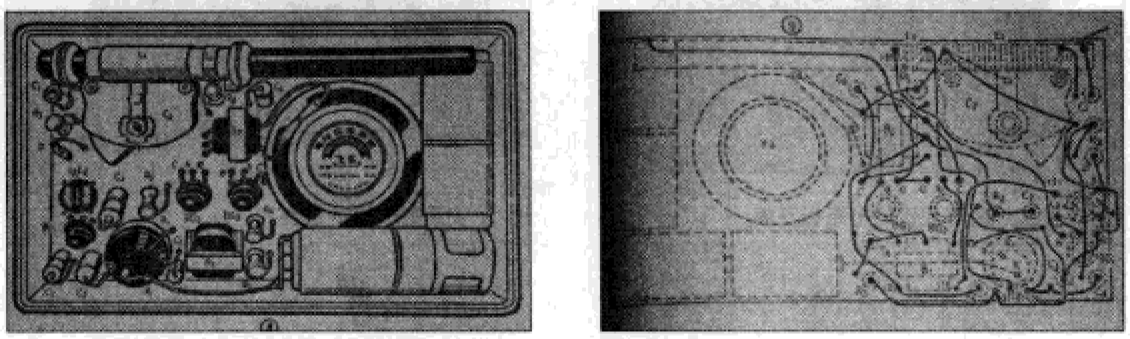


图3 1967年第1期《无线电》杂志刊登的《推挽输出半导体三管机》文章

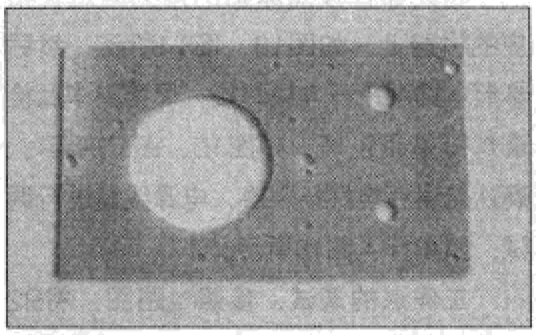


图4 主要定位孔

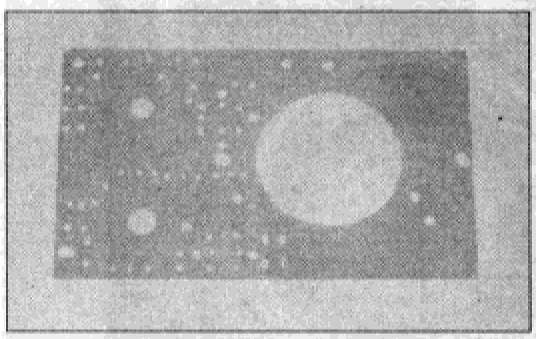


图5 元件分布定位孔

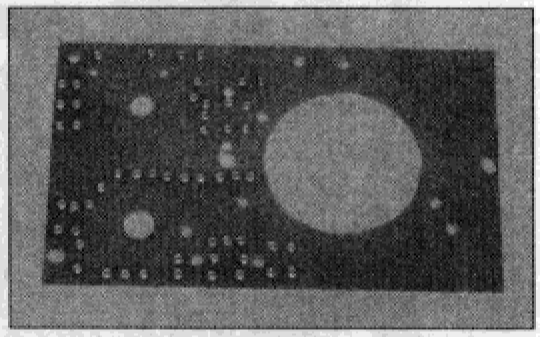


图6 在元件孔上安装上空心铆钉

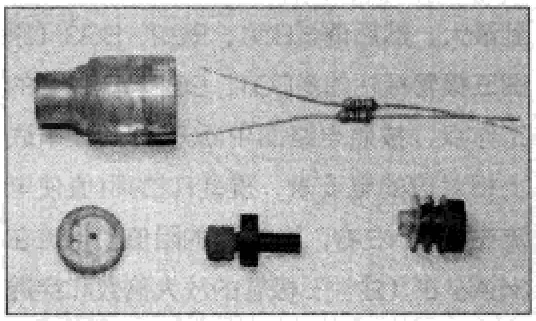


图7 高频变压器分解图

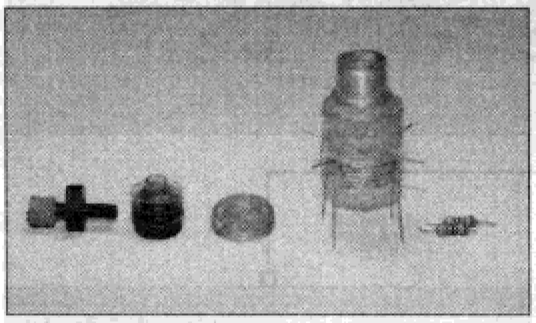


图8 将2个电阻进行固定

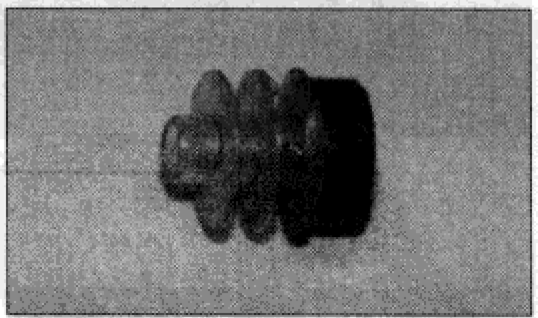


图9 拆下原始线圈的管架

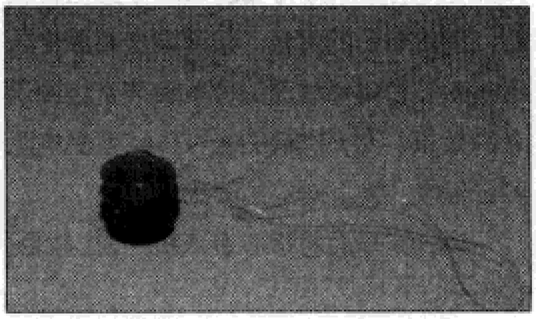


图10 正在制作中

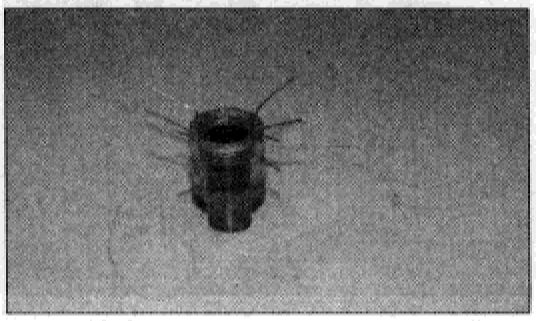


图11 正在制作中

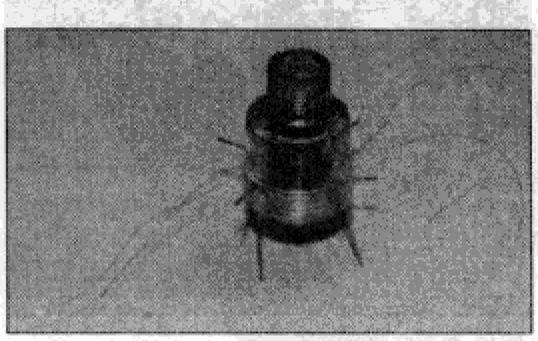


图12 最后完成的样子

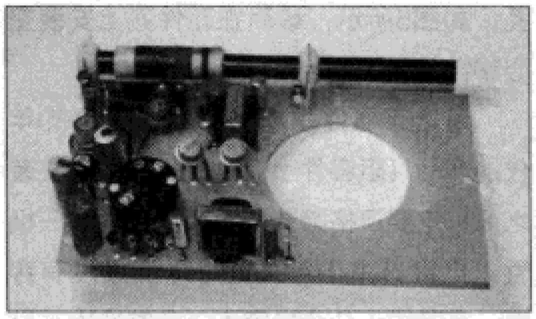


图13 插上元件的电路板

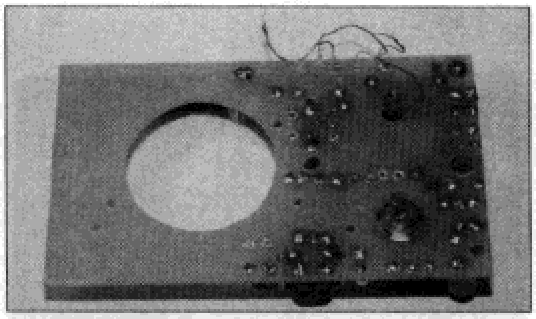


图14 焊接进行中

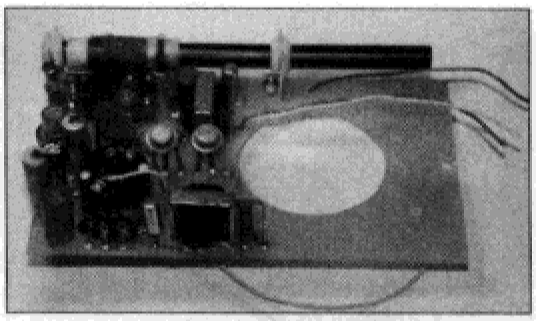


图15 只剩扬声器未安装

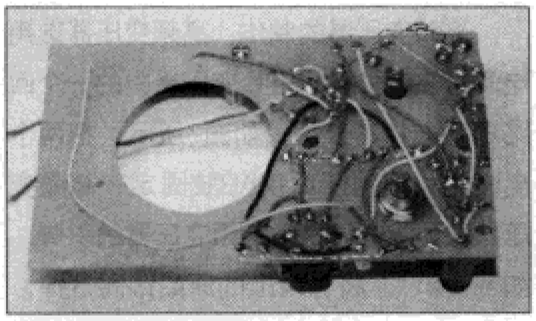


图16 检查连线是否正确

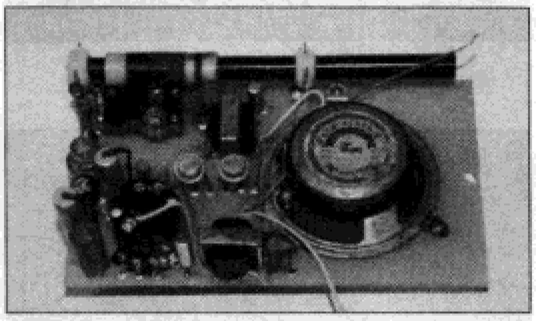


图17 安装好所有元件的电路板正面

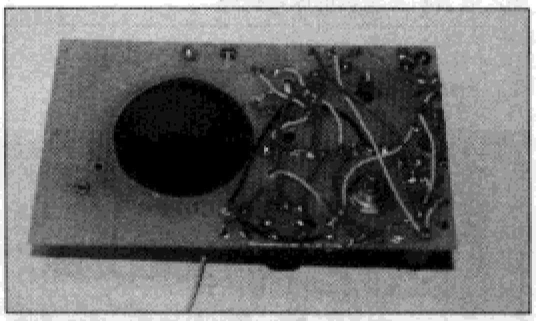


图18 安装好电路的反面

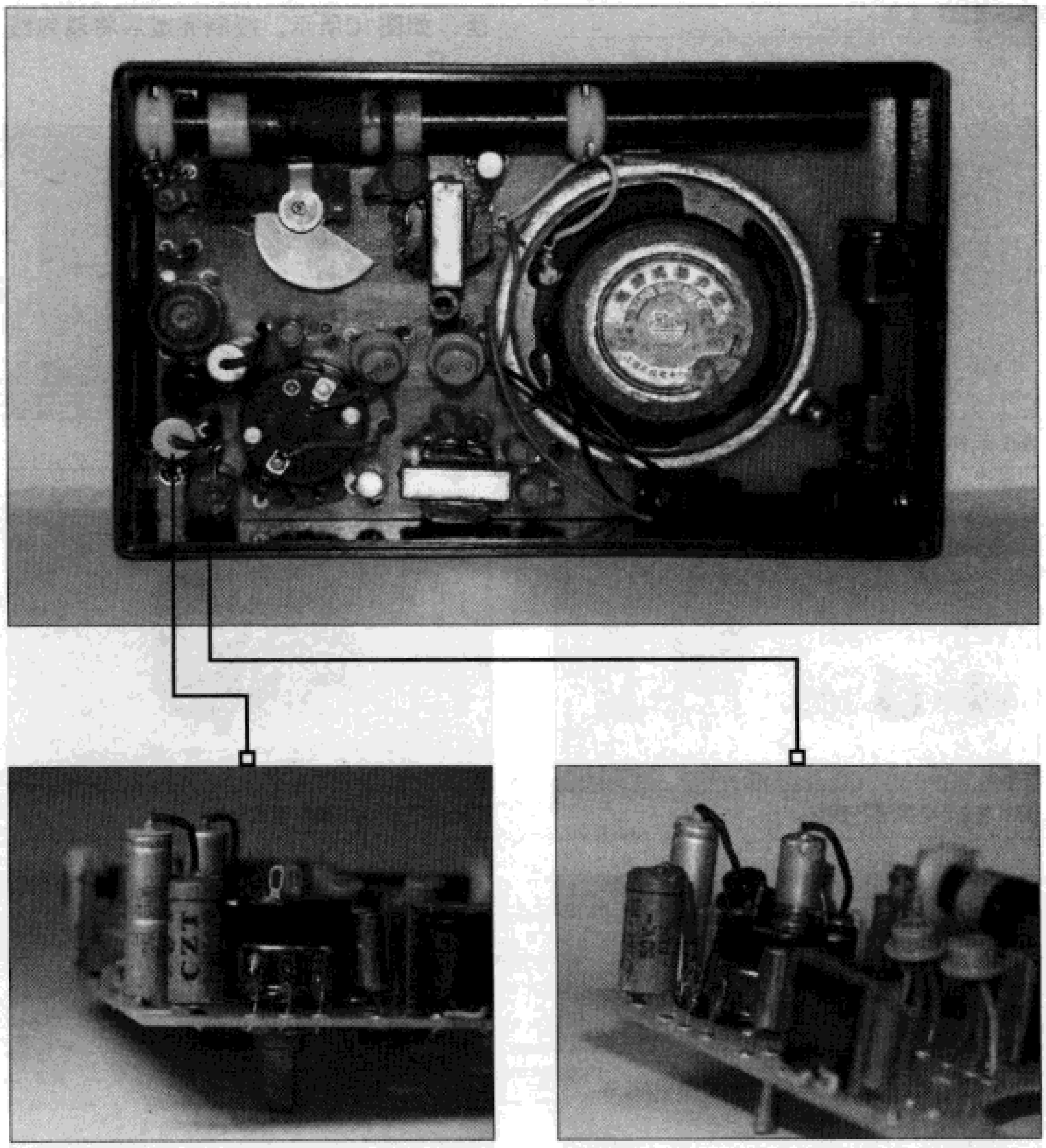


图19 最后完成的样子

去漆后焊在骨架的引脚上，如图11、图12所示，高频变压器制作完成。

将元器件按照原始的排列固定在相应的位置上，如图13、图14所示，然后参照电路图进行连线焊接，焊接完毕后检查焊接是否正确，如图15、图16所示。确认无误后接好扬声器、电源线等进行调试，如图17、图18所示。

工作点的调试，参照电路图，将R2换成220kΩ的半可变电阻，将R4换成10kΩ的半可变电阻，把R2、R4的阻值调到最大，然后调试BG1、BG2、BG3（原图三极管标注的是BG1、BG2、BG3）的工作点，按照电路图中断开A、B处串联上相对应的电流表，旋转R2的阻值使电流在1.5mA左右，旋转R4的阻值使电流在3mA左右（注：三极管的放大倍数和穿透电流的不同使调试BG1、BG2、BG3的工作点也有所不同）。旋转C2可变电容就可以调出电台的声音，接着调整高频变压器的磁芯和磁棒线圈的位置使声音达到满意的效果。最后焊下R2、R4半可变电阻测量阻值，换上对应的固定电阻。

调试完毕后将机芯装入机壳内，如图19所示。

一台完整的怀旧版三管机组装完成。

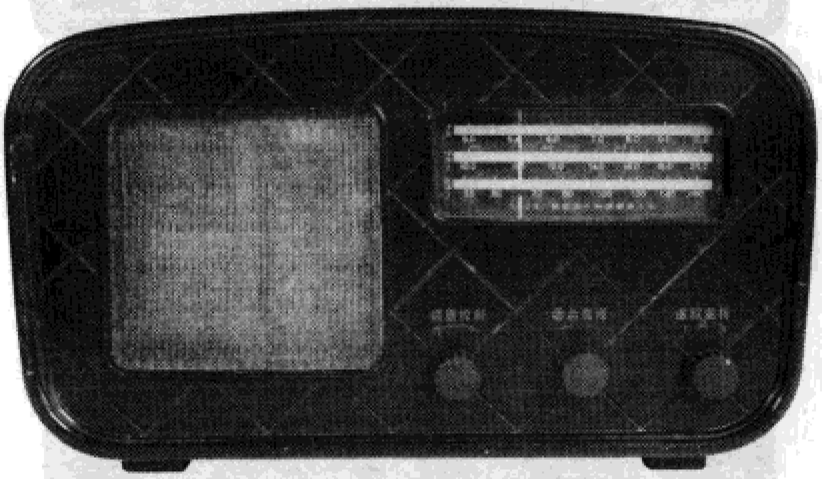
新中国成立初期比较经典的 几款国产收音机

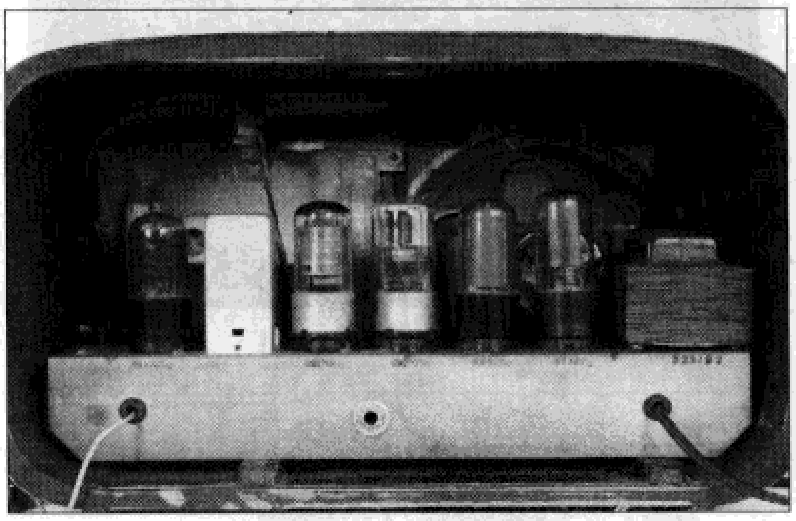
◇陈汉燕　徐蜀

新中国成立初期百废待兴，底子十分薄弱的电子工业更是举步维艰。为了加快收音机的研制工作，国家采取了立足本土，借鉴国外先进技术经验的方针，生产出一批质优价廉的收音机。这些收音机不仅在当时深受大众欢迎、风光无限，也为此后我国收音机制造业的大发展奠定了基础。本文重点介绍几款普及率高、影响大的收音机，它们是：南京无线电厂的红星牌502型、503型五灯机，天津无线电厂的工农之友牌二灯机，上海广播器材厂的上海牌135型三灯机，重庆无线电厂的125型五灯直流机。天津无线电厂的北京牌四灯机（即“小北京”）虽然十分经典，但已在本刊专文做过介绍，不再赘述。

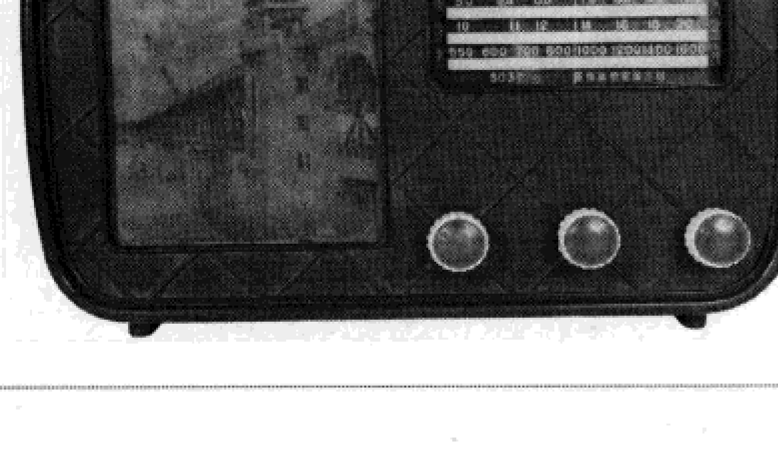
先说一下南京无线电厂的红星牌502。红星502是第一部全国产化的五灯收音机定型产品，在中国收音机工业史上具有重要的历史地位。红星502于1953年3月面市，此前的红星501是利用美国Rca56X型收音机散件组装而成。但502的整体结构是参照Rca56X及类似机器加以改造的，使之更适合中国的国情。其结构特点是：3个调节旋钮功能独立专一（电源开关音量、波段开关和电台调谐），并且拉近距离集中于收音机一侧，收音机另一侧是扬声器。这种布局的好处是简捷、坚固、美观，还易于使用者操作。红星502之后，其结构不仅与该厂的503、504系列机一脉相承，就连上海广播器材厂著名的155、156、157（部分），也未作变动，成为国产五灯收音机20世纪50年代中前期结构的

红星502型收音机

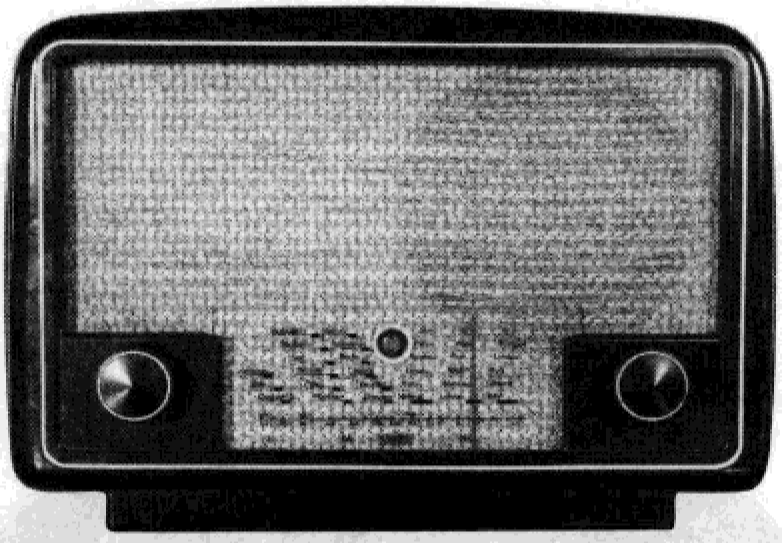


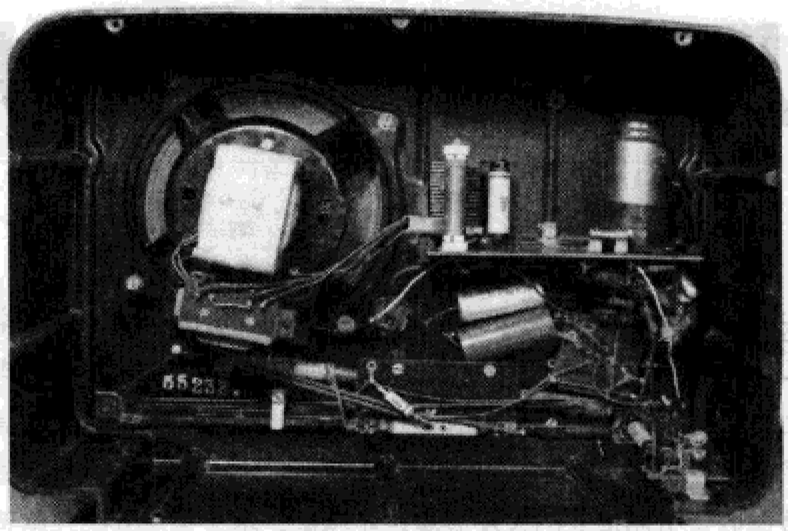


绿色外壳的红星503型收音机



工农之友原型机1U11



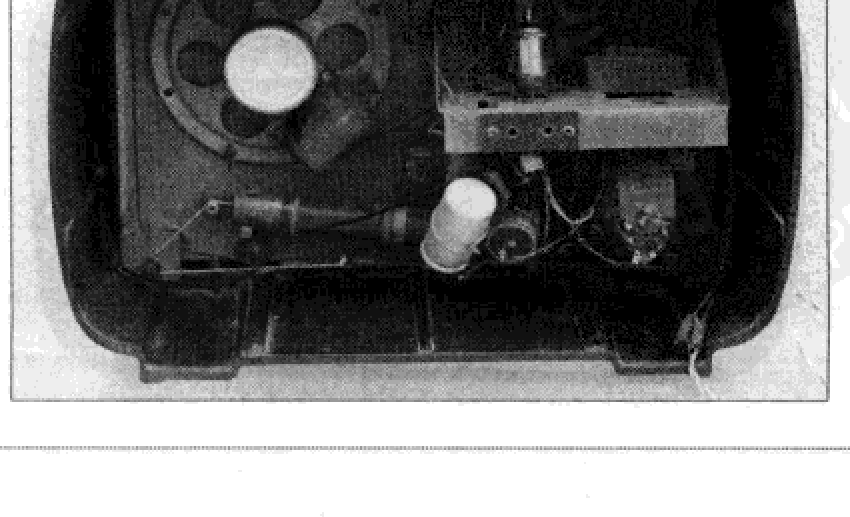


木壳工农之友收音机

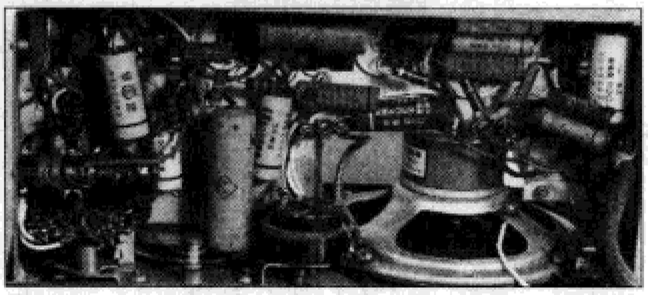
主流范本。我曾做过试验，将红星502、503、504系列，上海155、156系列，以及北京与其他地方当时生产的多种五灯机机芯和机箱，相互调换，全部可以通用，红星502的示范作用由此可见一斑。红星502后，很快又推出了简易型的502-甲。两者的区别是，虽都是木制机箱，但502木质精细，刻有菱形阴纹，更为美观，502-甲木质粗糙，没有阴纹，而且省去了唱机输入电路。502的改进机型是1954年出品的红星503。503的电路部分变动不大，主要是增加了更加耐热、耐潮的胶木机箱，而且有绿、咖啡、棕、灰、红、奶油等多种颜色。南京无线电厂是国内较早使用胶木机箱的无线电厂，胶木机箱不但耐用、美观，容易清洁，更重要的是便于规模化生产，可大幅提高收音机的产量。

接下来说说上海牌135型收音机。135型三灯再生式收音机

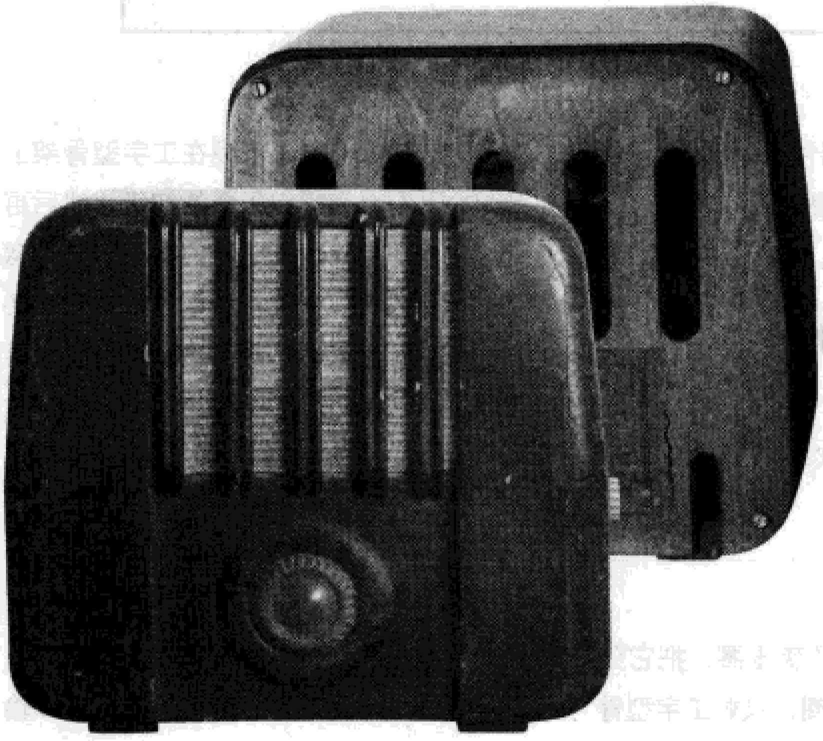
胶木壳工农之友收音机



长江125型收音机



上海135型收音机



是上海国营广播器材厂的前身——上海人民广播器材厂于1954年初陆续推出的。最早的型号是131，此后很快过渡到135型，其区别只是电子管的灯丝电压不同，其余完全一样。前几种型号分别采用12SG7、12A6、117Z6、35A5、35Z3、41以及6K6等电子管，135型则使用了比较通行的6SK7、6V6和5Y3，有利于维修更换。上海135系列三灯机是上广电最早的收音机产品，欧式古典风格的造型，憨态可掬，做工相当细腻，其木质机箱为传统工艺打造，几层腻子之上刷的老漆，加之再生式电子管收音机当年价值不高，故损毁严重，存世无多，极具收藏价值。我所藏几台135型收音机，只用机内半米长天线，仍可正常收听。

再来看看天津无线电厂生产的工农之友。工农之友也是1954年的产品，两管交流再生机，最大的特点是采用了电感线圈调谐电路，省去了可变电容器。工农之友是新中国初期，收音机工业引进国外技术的一个典范，它来源于原东德的1U11型单管机。1U11使用了一支UEL51孪生束射四极管，此管国内不易找到，且价格昂贵，所以用6BA6、6AQ5两支价低量大的管子取而代之。工农之友的造型虽然源于欧洲，但一大块中国名胜风景丝绣喇叭布，又使其具有了浓郁的民族风情。工农之友的产量非常大，至今北方地区还经常能够收购到，但品相比较完整的则是凤毛麟角，少之又少了。其实，工农之友当年同时推出了两种不同的版本：木制机箱与胶木机箱。木制机箱数量很少，造型与1U11不同，很像原东德的另一款两管机。两种机型的电路与内部结构基本一样。

最后介绍一下重庆无线电厂生产的长江牌125型五灯直流收音机。长江125生产于1955年，是重庆无线电厂收音机中的标志性产品。该厂是军工企业，具有先进的技术和雄厚的装备力量，其生产的长江牌系列收音机产品，一直是国产收音机中的精品，也是当下收音机收藏者刻意寻觅的对象。

20世纪50年代中前期，中国广大的农村地区没有通电，人们收听广播，多数要靠乡村的广播站转播，广播站使用的就是直流收音机，所以直流机的生产一直是有关部门非常重视的环节。1955年初，国务院就下达过生产10000台直流收音机，免费提供给农牧渔业地区广播站的通知。长江125型收音机的说明书中便明确其用途：“本机为干电池五灯二波段超外差式收音机，供无交流电源的农村、中小城市、沿海渔业合作社、地质勘探队等收听国内外广播电台播音节目之用。”应该说，长江125型直流机无愧于军工企业的产品，其工艺水准应该是当时国内的佼佼者，无人能出其右。

125型直流机有木制、铁壳两种机型，显然后者更适合野外使用。我曾拆开过一台铁壳125，内部做工非常规范，电子管等部件均作屏蔽与防震处理。尤为难得的是，密封效果十分出众，面市近60年，其内部居然纤尘未染，所有元件完好如新，接收播放性能也还相当不错。

◇赵春云

忆童年——“再生来复式四管机”的制作

每一个人都有自己美好的童年，我的童年除学习之外，课余时间都是在学习无线电基础知识中度过的，在当时那个年代里，小孩子有这样的爱好，四邻久居的婶子大娘、叔叔大爷们都喜欢你、夸奖你。这几天拿出我上初二时写的学习无线电的学习日记，倍感亲切，仿佛使我又回到了童年。

当年制作的十几台收音机我一直在保存着，由于社会的发展进步，几次搬进新家，自己保留的一些“家当”（收音机、元器件等）流失了很多，现在想起这些老收音机没有保留到至今，感到非常的遗憾。当年我用肥皂盒制作过的收音机还历历在目。

几十年过去了，一次在超市买了东西，偶尔发现了类似于当年的那种肥皂盒，哈哈，我一下就买了 10 个。我要把流失的记忆找回来。

找到我收藏的《晶体管收音机》这本书，选择了如图1所示的电路，该电路的来复式四管机没有采用倍压检波电路，使用了高频变压器耦合（自己绕制），然后检波，这样的电路在收听高低频段电台信号的强度均匀，收听效果非常好。

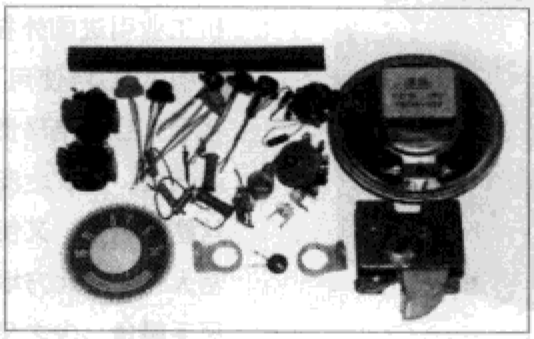
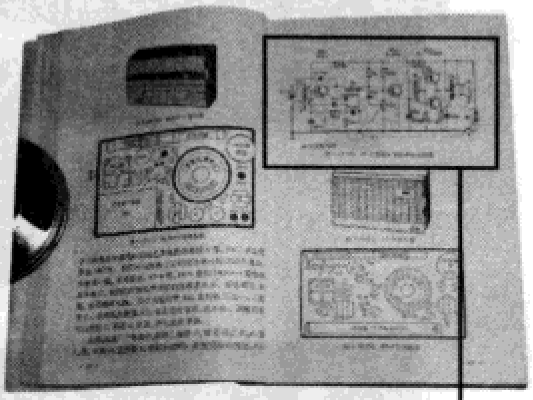


图2 选择的元器件



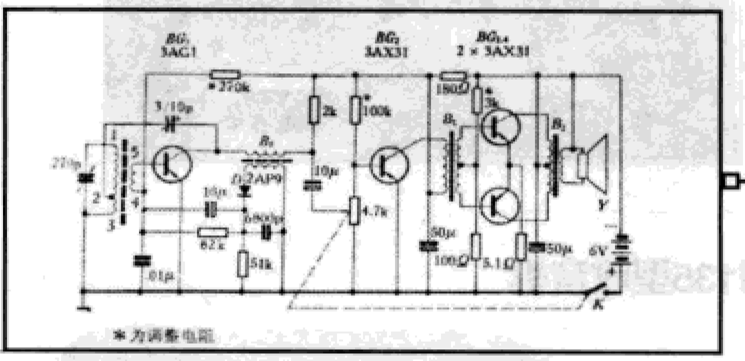


图1 再生来复式四管机电路图

元器件的筛选

由于是怀旧，所以元器件的选择要体现一个“老”字，只有这样制作出来的收音机才是当年的味道，我筛选的都是20世纪60至70年代的元器件，如图2所示，每个元器件要严格测量筛选，二极管、三极管、电容器尤为重要。

磁性天线线圈的制作

初级用0.07mm×7的纱包线绕75匝，在70匝处抽头，次级用0.07mm×7的纱包线绕10匝。

高频变压器的制作

选择一个TTF-3中频变压器，把它分解，拆掉原始的所有线圈，只剩工字型骨架，用0.07mm的漆包线在工字型骨架上绕180匝作为高频变压器的初级，然后再绕300匝作为高频变压器的次级，要注意头与尾的顺序，最后把漆包线去漆焊在各自的引脚上，装入屏蔽罩内，高频变压器制作完成。

元器件的布局

按照肥皂盒的尺寸选择胶木板，同时选好扬声器磁钢的孔洞。将主要元件的结构布局摆放好，排序时要掌握一个原则，就是元件的先后顺序（高频输入到音频输

出）以免前后级之间引起耦合，产生自激现象。布局选定后，参照电路图标出阻容件在胶木板上的相应位置，做好标记，然后打孔固定好空芯铆钉。参照电路图将所有元器件固定、穿在板子上的铆钉孔里进行焊接。焊接完毕后的电路板如图3所示。

调试

仔细检查电路焊接无误后，接上扬声器，按照如图4所示的电路图，将供给高放级电路的直流工作点的*270kΩ电阻用一个300kΩ和20kΩ串联的临时电阻代替，并断开电路图中的AB处，串联直流电流表，用来调整直流工作点，这时接通6V电源进行调整，高放级的直流工作点正常值为0.5~1.5mA。将供给前置低频放大级电路的直流工作点的*100kΩ电阻用一个300kΩ和20kΩ串联的临时电阻代替，并断开电路图中的AB处，串联直流电流表，用来调整直流工作点，前置低频放大级直流工作点正常值为1~2mA。将供给推挽低频放大级电路的直流工作点的*3kΩ电阻用一个10kΩ和1kΩ串联的临时电阻代替，并断开电路图中的AB处，串联直流电流表，用来调整直流工作点，推挽低频放大级直流工作点正常值为2~5mA。需要说明的一点，由于所选择的晶体三极管的参数不同，调整后的工作电流有所不同。三级放大电路的直流工作点调整后，将音量电位器旋至最大，这时扬声器里应出现“沙沙”声。同时旋转单连可变电容器，扬声器里出现电台的声音，选中一个电台后，重复上述的直流工作点的调整，同时监听扬声器里电台的声音，使其达到音量最大而且不失真为止，最后关闭电源，拆下来串联在电路中的3个临时电阻，用万用表电阻挡测量各自相对应的A、B两端的阻值，然后用近似值的固定电阻焊在相对应的电路板的位置上，直流工作点调整完毕。

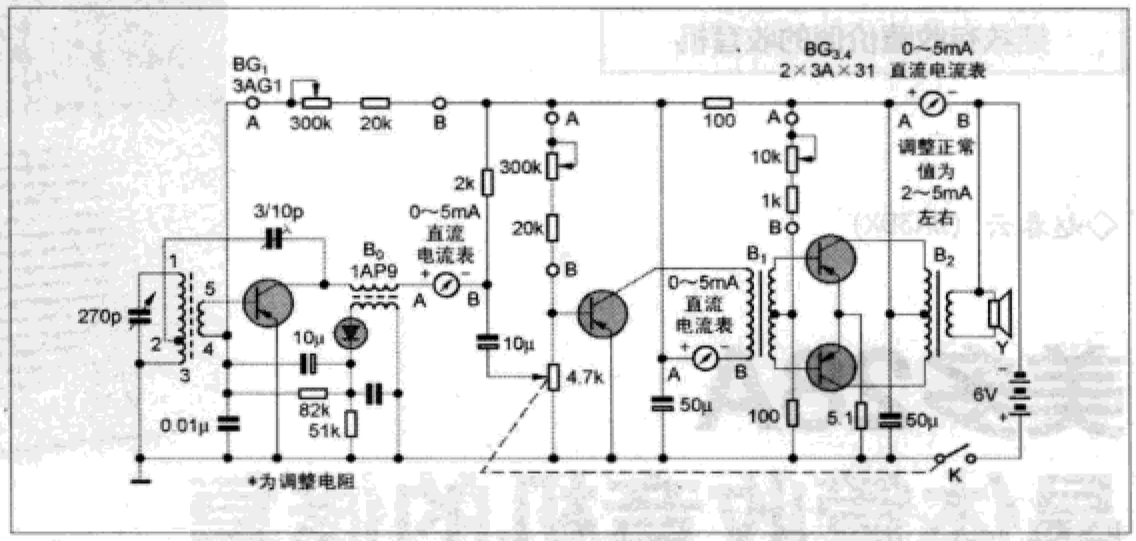


图4 直流工作点的调整（老资料）

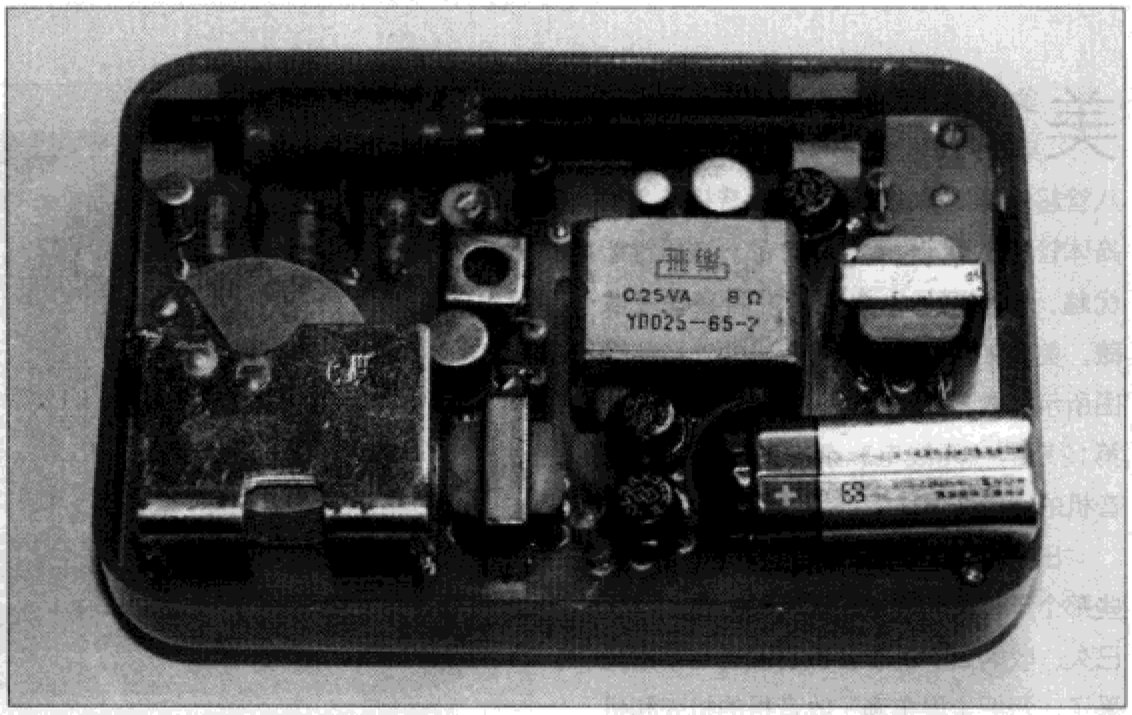


图5 将调整好的电路板放入肥皂盒内

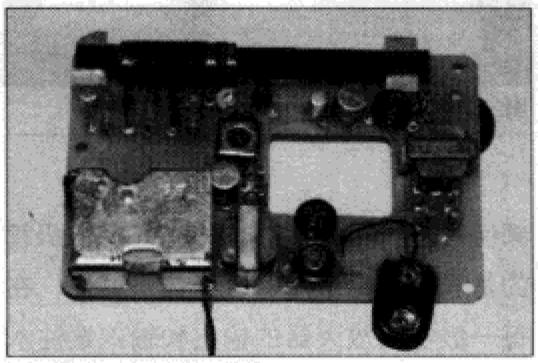


图3 焊接完毕后的电路板

装入机壳内（肥皂盒）

按照事先与电路板设定好的位置，在肥皂盒内用AB胶粘牢固定电路板的3个支柱，同时将扬声器也固定好。将调整好的电路板放入肥皂盒内，拧好3个固定螺丝，装好频率度盘和6V层叠电池，如图5所示，做一次简单的统调，将音量电位器旋至到中间位置，转动频率度盘，在低端640kHz左右的地方调出一个电台的信号出来（我选出的是中央人民广播电台中国之声），然后调整磁棒线圈的位置和高频变压器的磁芯，使声音最大为止，要重复几次，低端调整才结束。在高端1380kHz左右的地方调出一个电台的信号（我选出的是天津人民广播电台的节目），然后调整3/10pF半可变再生电容的位置，使声音最大为止，要重复几次，总的调整就完成了。一台童年时代“再生来复式四管机”就制作成功了。

拯救有收藏价值的收音机

◇赵春云（BA3DX）

美多28A
晶体管收音机的修复

美多28A型晶体管收音机是上海无线电三厂20世纪60年代生产的两波段八管超外差便携式收音机，收音机所用的晶体管和小型元件都是国产品。该机性能优越，外观精巧，深受爱好者喜爱及收藏。美多28A型晶体管收音机的外形如题图所示，内部结构如图1所示。在1963年第12期的《无线电》杂志上曾对这款收音机的特点做过比较详细的介绍。

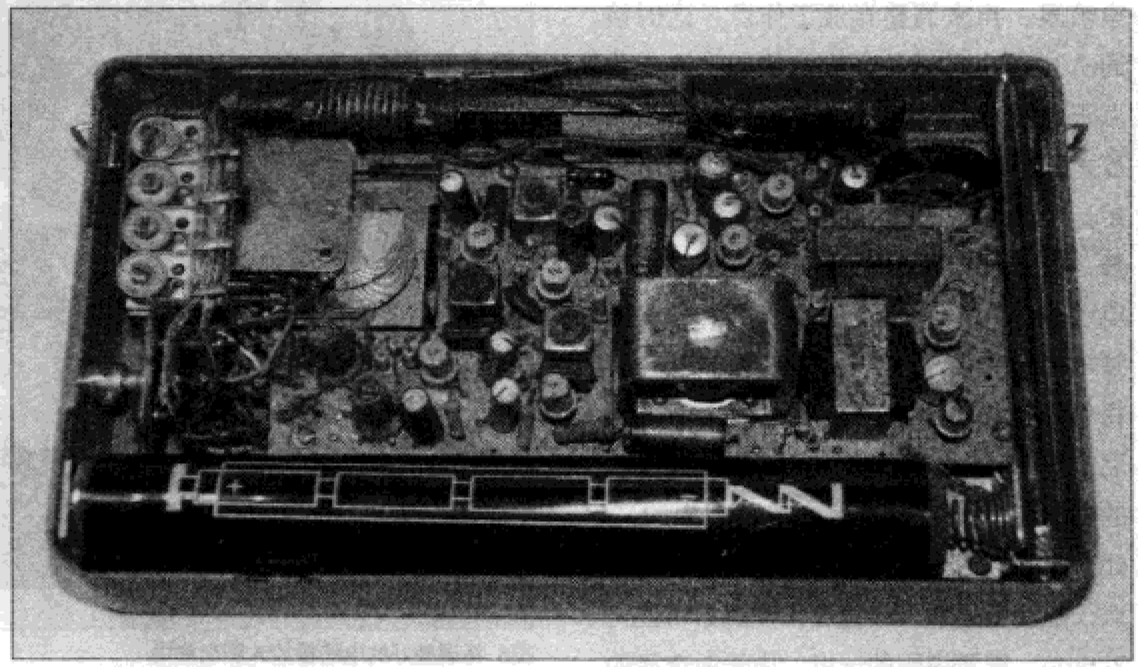


图1 28A型晶体管收音机的内部结构

出于对童年的怀旧，本人经常收购一些那个年代遗留下来的收音机。由于年代已久，收购到手的收音机已没有当年的风采了，污垢尘埃布满了收音机的机壳和机芯，而且收音机基本上都是不响的。为了让这些有收藏价值的收音机恢复原貌，本人做了以下处理。

清理卫生

先将美多28A型晶体管收音机整机的机壳与电路板分解，度盘从机壳上拆下后，不要用热水浸泡及清洗，而是用麂皮擦拭和除尘，以免损坏度盘上的字迹。机壳可以用一盆热水浸泡，大约1小时之后，用牙刷蘸着洗衣服的肥皂，打成泡沫刷洗机壳内外。注意：不要用洗手液之类去污剂，因为这类去污剂对塑料用品有损伤。清洗后的机壳如图2所示。再用毛刷蘸着洗衣服的肥皂，打成泡沫刷洗电路板，清洗后的电路板要用电热吹风机烘干和去潮湿，清洗干净的电路板如图3和图4所示。最后将机壳和度盘组装复原。

修复机芯

美多28A型晶体管收音机的电路图如图5所示，参考电路图，把机芯外接上扬声器和电源进行试听。此机的故障现象为音量开到最大，扬声器里可以调出电台的声音，但音量很小时收不到电台，度盘高端可以收到电台并伴有啸叫声。根据故障现象判断，低频放大电路和中频放大电路都存在着故障，检修方法：断开图中×处的连接线，首先检查低频放大电路，用音

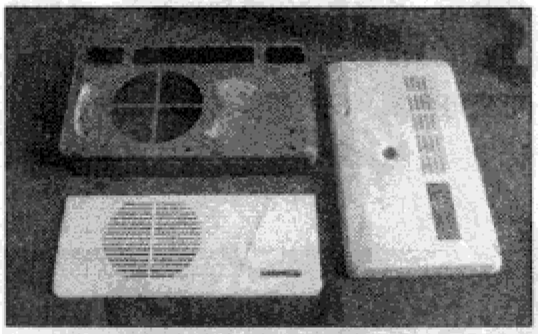


图2 清洗干净的机壳

频信号发生器从后往前逐级在晶体三极管的基极或集电极注入音频信号（注：在每一级低频放大器的输出和输入端注入信号）参考点如图6所示，信号注入后直

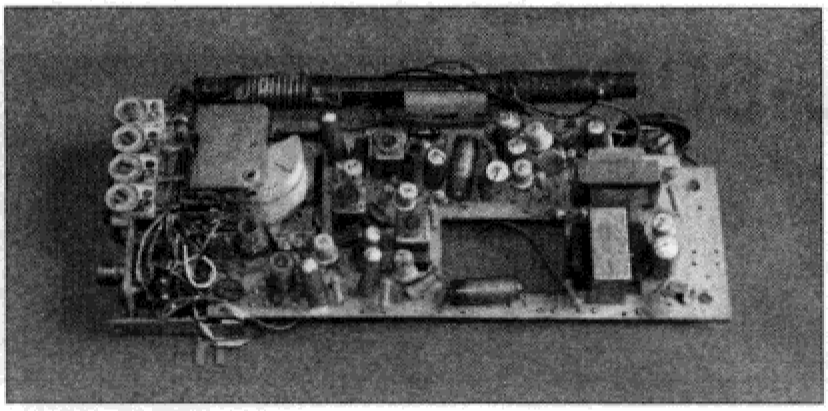


图3 清洗后的电路板正面

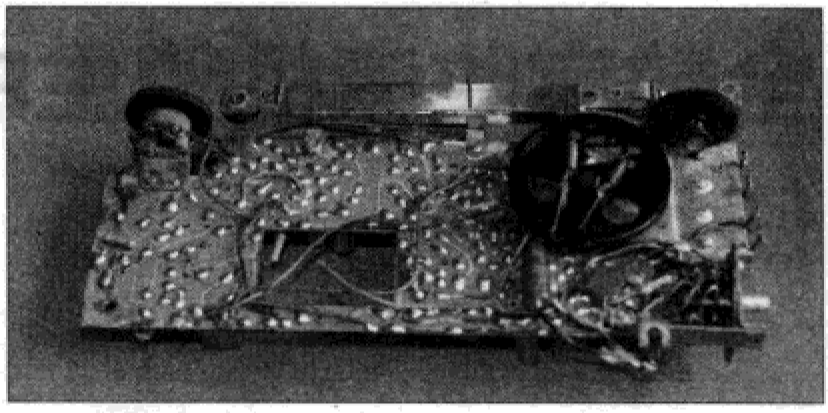


图4 清洗后的电路板反面

到VT5晶体三极管的基极时电路都是正常的，最后把信号发生器的探头注入到音量电位器的中间焊片上时（C25，10μF的正极）发现信号声音很小，用一只好的10μF电解电容器并接在C25的两端，扬声器里发出的声音恢复正常，说明C25已失效，将其更换，故障排除。

中频放大电路的检查：度盘低端收不到电台，度盘高端可以收到电台并伴有啸叫声，根据这一现象，判断可能是AGC自动增益控制电路中的C7（10μF）电解电容器容量减小或失效所致，在C7的两端并接一只好的10μF电解电容器后调节双联可变电容器，度盘低端出现电台，啸叫声消失，故障排除。

统调：美多28A型晶体管收音机生产于20世纪60年代，机内的元器件都有不同程度老化，特别是电感线圈和磁芯（包括磁棒的磁通密度和天线线圈的*Q*值）都有不同程度的降低，所以做一次简单的调整对提高收音机的灵敏度和选择性是很有好处的（注：灵敏度是指收音机接收微弱信号的能力，选择性是指收音机挑选电台的能力）。第一，度盘低端频率的调整，首先调节可变电容器在度盘的640kHz左右的频率上寻找到一个电台的声音出来，音量调整到小一些，这时左右移动天线线圈在磁棒上的位置，直至扬声器发出的声音最大为止，低端调整完毕。第二，度盘高端频率的调整，调节可变电容器在度盘的1380kHz左右的频率上寻找到一个电台的声音出来，音量调整到小一些，调整C3半可变电容器的位置，直至扬声器发出的声音最大为止，高端调整完毕。

通过以上的调整，美多28A型晶体管收音机基本上可以达到最初的技术指标。收音机的机芯调整好以后，把它装入机壳内，一台赏心悦目的美多28A型晶体管收音机恢复了它光彩。

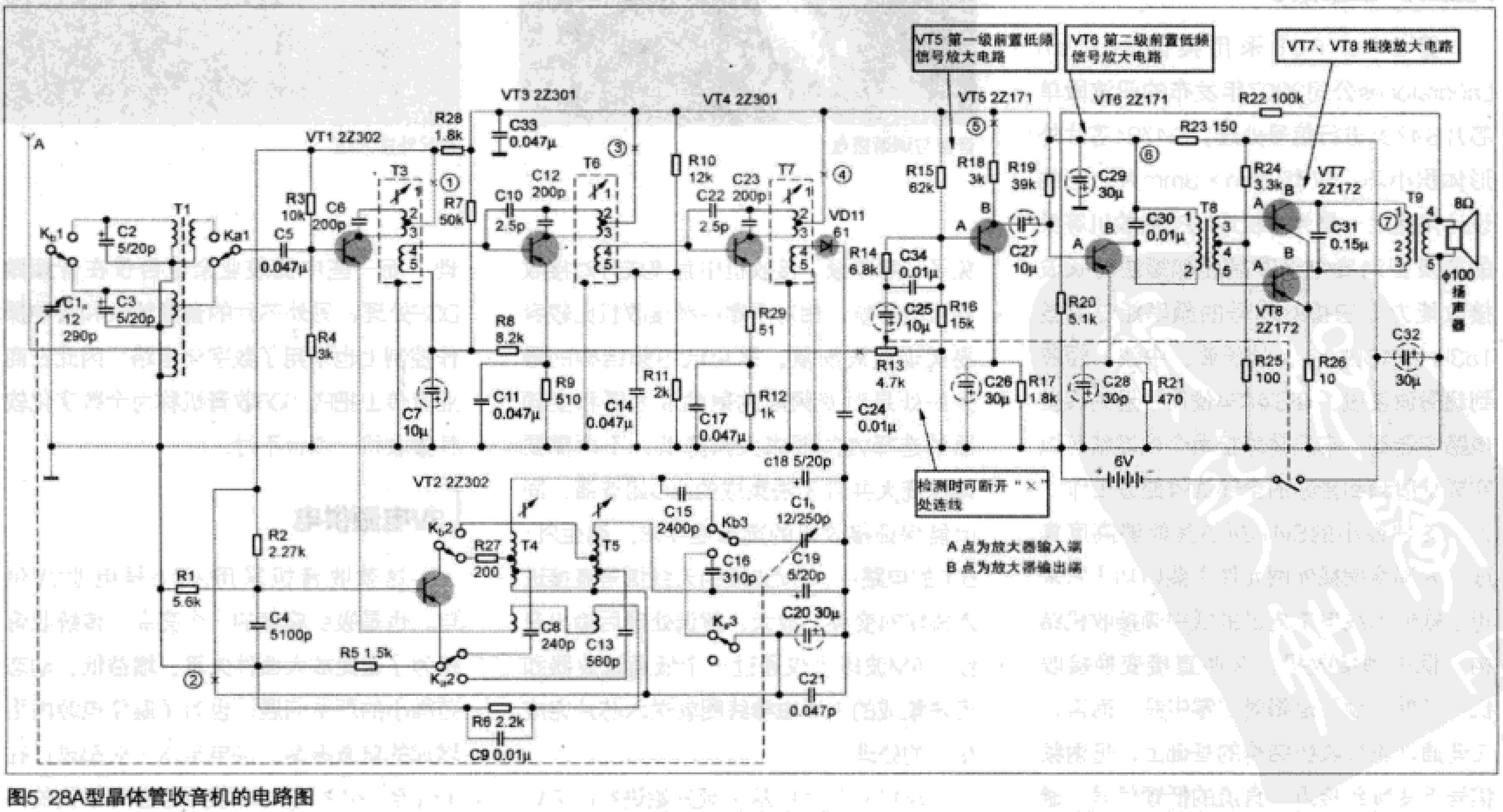
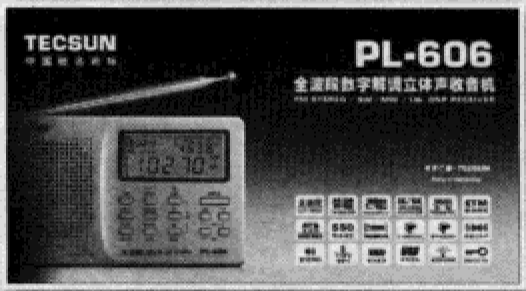


图5 28A型晶体管收音机的电路图

全数字收音机德生PL-606使用体验



◇张峥（BG8SF）

长期沉迷在业余无线电的爱好中，笔者手边有多种型号的对讲机和短波电台。最近吸引笔者关注的是2010年10月28日上市的德生PL-606收音机，理由有两点：一是它具有DSP（数字信号处理）功能。它可不是一般的电台和对讲机能有的功能，二是这款机型配有一根接驳式拉杆天线，当初看到时不知道是怎样的结构。任何喜欢无线电的爱好者都会对特别的天线有所兴趣。

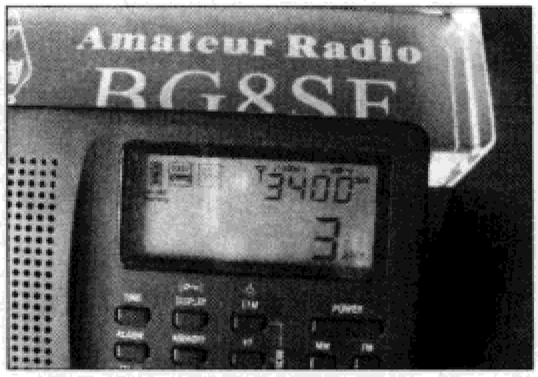
买来德生PL-606专门收听广播之用，经过近半年的使用，觉得很不错，这里想把这款收音机推荐给各位读者。

全数字电路结构

德生PL-606采用美国Silicon Laboratories公司2007年发布的四波段单芯片Si4734进行信号处理。Si4734芯片外形体积小巧，仅有3mm×3mm大。它的设计用途之一是为手机或MP3播放机等类的普及型消费电子产品增加短波与长波接收能力。它接收信号的频率能够覆盖153kHz~108MHz，从长波、中波、短波到超短波波段。在Si4734使用手册的典型电路中看到，它只需外接两个电容就可以完成从射频到音频的全部信号处理工作。

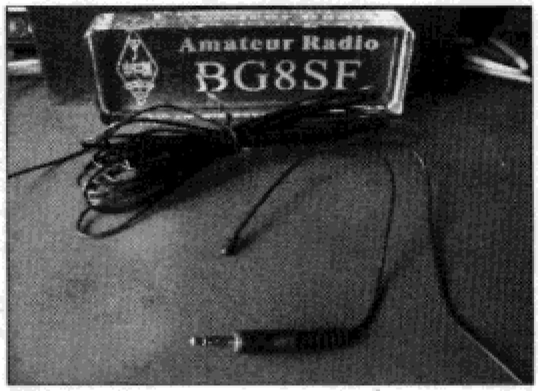
这块微小的Si4734芯片能够高度集成、大幅度缩减外围元件主要归功于它采用了软件无线电中先进的低中频接收机结构。低中频接收机，又叫直接变换接收机。“低中频”是相对“零中频”而言，在普通外差接收机结构的基础上，把射频信号下变频到接近于直流的低频信号，避免了“零中频”接收机中直流成分对接收信号的影响，相对于零中频接收机比较容易实现载波恢复。采用低中频结构的最大好处是对变频前的射频放大器和变频器的选择性的要求大为降低，不再需要体积庞大并且无法集成的高Q滤波器，同时能保证接收机的选择性要求。德生PL-606的电路中，FM波段的天线信号直接进入Si4734变频、放大、解调处理后输出音频，AM波段也仅通过一个低通滤波器和无法集成的中波磁棒线圈就送入芯片完成相同的处理。

接驳的天线



通道带宽调整

音量与调谐拨盘



原配外接天线

Si4734芯片中从中频开始进行DSP处理，而一些中低段业余电台仅在音频做DSP处理，另外芯片的音频放大和各种操作控制上也采用了数字化电路，因此在商业宣传上把PL-606收音机称为全数字化软件接收机一点也不过。

3V电源供电

这款收音机采用2节5号电池3V供电，也是吸引笔者的一个亮点。传统收音机为了避免放大器件失真、增益低、动态范围小的严重问题，也为了避免电源内阻增加的自激振荡，供电电压一般都设计在4.5V至12V之间。记得20世纪70年代的晶

体管收音机采用3V或1.5V电压供电方案的电路都需要采取一系列措施保证其性能稳定，甚至不得不采用稳定性差、漏电大、截止频率低的锗材料NPN型晶体管电路。现代采用干电池供电的收音机不少也是采用3节电池（4.5V）甚至4节电池（6V）的高电压供电方案。PL-606采用2节电池3V供电，不仅减小了收音机体积，获得更好的便携性，而且电池消耗数量的减少更有利于环保低碳。

笔者在收音机中使用2节1300mAH的镍氢电池，其标称电压仅1.2V。2节电池工作时电压不到2.4V，但该机也能稳定工作。平均每天收听40分钟，大约1个月才需要充电。充电时通过收音机侧面的miniUSB电源插口进行。在菜单中可以设置充电插口“智能充电”功能的开启和关闭。这个miniUSB电源插口与很多手机以及电脑外设使用的电源相同，可以共用充电器。也可以直接利用电脑的USB插口进行充电，对使用电脑的人来说非常方便。

现代集成电路可以在低电压下保持收音机的性能，但其输出动态范围仍然会受到一些影响。PL-606的性能指标中，扬声器音频输出功率仅230mW，比德生PL-380这类4.5V供电的机型小120mW，不过，在屋内使用时，输出功率已经能满足要求。

自动搜台

如果只是收听FM调频广播，现在随便一个手机或者MP3/MP4一类的电子产品都能胜任，专门买个收音机主要是用来听中波和短波。中波还好，能收的电台不多，操作上没什么问题。短波波段数量众多的电台在收音机调谐中一直是个麻烦。曾经在模拟电路收音机中流行过短波波段展宽技术，用特别设计的无数LC谐振回路将短波细分为若干频率段，在每个频率段中可以精确方便地操作调谐收台。

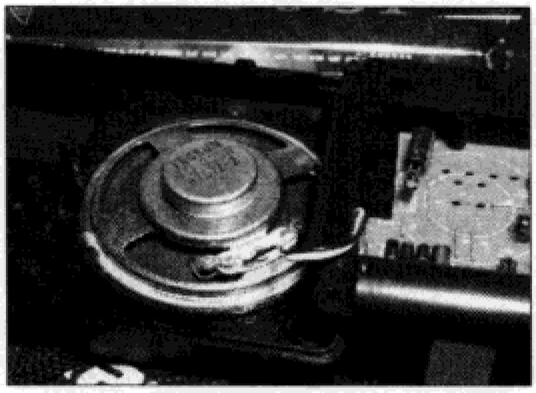
德生的数字调谐收音机采用锁相环频率合成技术产生本振信号，用精准的数字电路控制输出调谐所需的振荡频率。短波波段的调谐精度、稳定度和操作方便性都大大增加。剩下要考虑的是如何快速搜索有用的电台信号。

PL-606除了手动方式能以1kHz步进搜台外，还可以采用自动方式快速搜索电台。自动搜台模式有ATS和ETM（Easy Tuning Mode）两种。本质上两种模式原理差不多：都是预先设定一个接收电台信号强度门限值，通过对全波段的扫描，将高于门限信号强度的所有频率全部记录保存，完成自动搜台过程。ATS为了保证搜到信号的频率是真正有用的电台，其接收信号强度门限较高，这样容易漏掉一些信号相对较弱的电台。ETM的搜台方式据称是德生独创开发的技术，它在ATS模式的基础上预先排除没有电台节目的频率点，优选出疑似电台的频点，让搜台过程快速而准确。ETM的接收信号强度门限可以设得较低，这样弱信号的电台也能被锁定并保存。

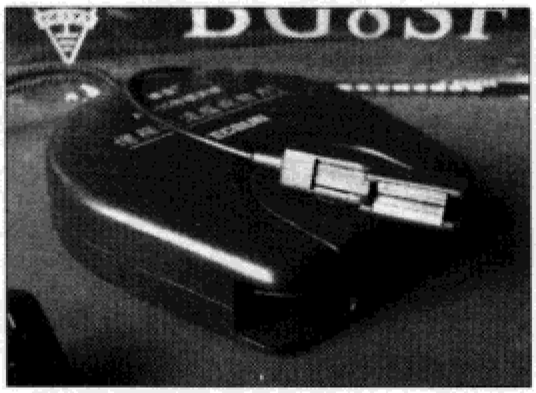
实际使用感觉ETM的效果不错，搜台速度很快。2分30秒左右就能将短波全段扫描完毕，锁定存储下来的电台，屏幕显示信号强度平均在40dB以上，信噪比平均在9dB以上，基本都能分辨出电台播音员的播讲。如果能知道某个电台的准确频率，那也可以借助手动模式调谐到接收频率。锁定在存储器中的电台切换很方便，拨动调谐旋钮可以快速切换到其他电台频率。另外该机还有一个自动浏览电台的功能，可以在搜索到电台时暂停5秒预听一下，然后再继续搜索，也可以在存储的电台中按每个频率停顿5秒的速度浏览各个电台。这个功能在短波上的用处不大，在调频波段偶尔可以试试。

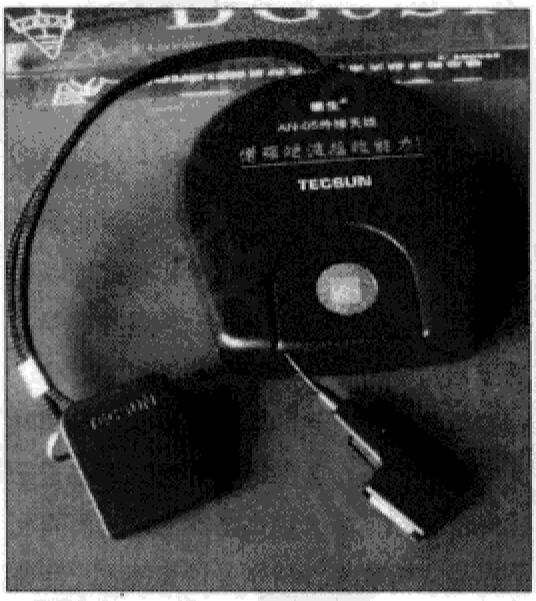
数字控制与操作

全数字化电路为德生PL-606的操作带来很多值得炫耀之处。首先是调谐旋钮和音量旋钮都是电子拨盘，与传统的调谐可变电容和音量调节电位器相比有很大优势。首先可以无限制地一直往一个方向拨动，不会拨到头，其次是有精确的步进刻


纸盆扬声器

AN05天线缠绕


天线卡头



AN05天线

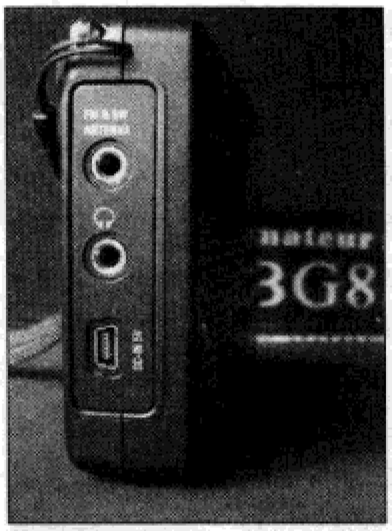
度，操作时可以控制每次拨动“一格”。调谐时，拨动“一格”可以切换到下一个电台频率或者以最小步进1kHz进行频率增减操作，调节音量时拨动“一格”，音量增加或减少一挡，一共有30挡音量。在用这两个旋钮设定菜单参数或者设定时间时，拨动“一格”可以准确控制变量增减一个单位。操作感觉与使用拨动鼠标的中键滚轮相仿。由于采取和鼠标类似光电触发结构，没有电触点的直接磨损，就算长期使用也不会像传统模拟收音机那样出现失灵的状况。

在系统CPU的控制下还有一个实用功能，那就是时钟控制。PL-606采用32.768kHz的基准时钟频率，可以达到$\pm 200\times 10^{-6}$的精度，其时钟走时非常准。近半年的使用，时钟显示误差没有超过1分钟。在这个时钟的控制下，可以完成准确的定时开机、延时关机动作。笔者习惯将这个收音机作为早上起床的闹铃：早上预定时间到时，它可以自动开机在预设频率上，用设定的音量播放广播，早上出门上班，不用人工操作，它会在预定延时时间到后自动关机。

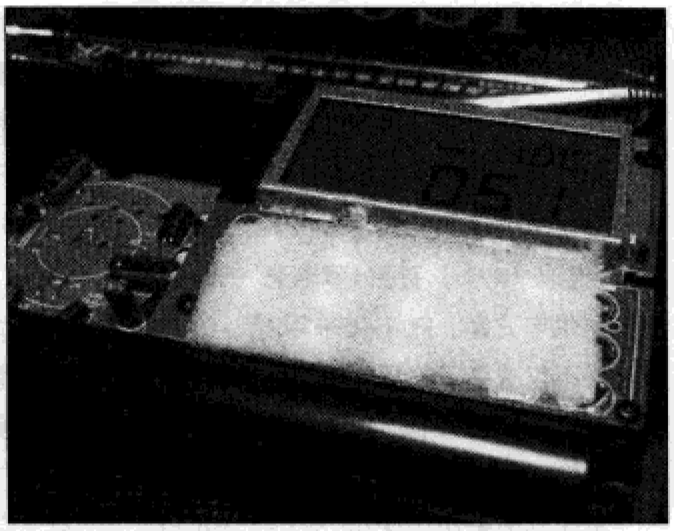
功能与效果

软件无线电只要在程序上增加几个字节的代码，就让这个收音机增加了其他机型少有的接收信号强度显示和信噪比显示。这在一般的对讲机或电台里也少见。当然，如果看不懂这个显示内容或是没有兴趣也可以切换为显示时间或温度，都是很实用的功能。

Si4734中频DSP处理功能，让其可以轻松控制调整中频通道带宽。接收调幅信号时，通过面板上的切换按键可以在6kHz、3kHz、2kHz、1kHz带宽间切换。通道带宽宽时，音频信号饱满、失真小、保真度高，但碰到同频或邻频干扰时信噪比会大大降低，通道带宽窄时，将临近干扰电台滤除，大大提高信噪比，反而有利于提高收听效果。特别是短波接收，当碰到临近电台干扰收听时，切换选择较窄的



耳机天线充电插口


键盘和屏幕

通道带宽，收音效果改善明显。

PL-606采用直径57mm的纸盆扬声器放音，声音浑厚圆润，比其他采用薄膜纸盆扬声器的机型音质不止好了一点点。不过由于低压供电的原因，当音量调至最大（30级）时声音略显失真，像破掉纸盆的扬声器放音，音量在28以下就好得多。一般家庭在室内白天音量为15放音就觉得很响亮，夜间只能控制在10以下，免得吵。所以就实际使用经验而言，这个大音量失真的问题也不存在了。

天线

PL-606自带天线长度为550mm，最有特色的那条接驳天线，长约785mm。市区接收FM调频广播有自带天线，就足够。当收听短波时，接驳天线延长的部分将给接收信号带来额外的增益。这个额外的增益从听觉上感觉不明显，但从机器自带的接收信号强度显示来看是有效果的。

这根接驳天线由一根拉杆天线和一段塑料的套管组成。拉杆天线除了底部是一个铜制的平整触点外其他与普通拉杆天线无异。塑料套管结构由中间两头有螺纹带四瓣收紧抓头和两头顶端外面的塑料螺帽组成。套管内壁是与塑料管相同结构的管状金属导体，两头也是四瓣收紧抓头。利用这个套管可以将接驳天线和机带天线连接在一起锁紧，并能保证可靠接触，让天线导体的总长度轻松延展到1m以上。

使用拉杆接驳天线拉开时，天线导体很长，由于收音机本身较轻，感觉机身很容易倾倒，并且硬挺的长天线搬移时也有些碍事。如果改用原机配送的软导线天线就好多了。一是不会让收音机重心改变而倾倒，另外软天线可以根据使用环境随意弯折或是扔在窗外，以获得更好的接收效果。这条软导线天线长度近6m，作为长线，它接天线收短波的效果大大改善。它用一只3.5mm普通音频2芯插头插入收音机侧面的外接天线插口，为超短波FM调频和短波SW波段改善接收效果。

如果愿意，可以另外选购外接天线附件AN-05。它的作用与随机赠送的软线天线相同，只是总长度延长至7m，可以更好地改善短波低频率段的接收效果。这个天线有一个类似钢卷尺一样的卷线盘。不用天线时，可以用手指拨动卷盘，将全部软线收卷回线盘。卷盘天线端头有一个通用的金属接触卡，它可以卡在拉杆天线的金属外壁上。理论上这个卷盘可以与任何拉杆天线相连接，延长天线有效长度。卷盘外配有一个塑料夹子，使用时可以把它夹在高处，让软线天线容易固定。不过这个卷线天线实际使用时，卷回的线经常会缠绕在一起无法拉出，不得不拆开理线。PL-606已经附赠有软线天线，购买AN-05的意义确实不大，不建议读者购买。

软线天线和拉杆天线对改善超短波FM和短波SW有帮助，但对于波长百米的

PL-606 基本技术指标

■ 频率范围/调谐步进

调频（FM）：64～108MHz，智能步进0.01MHz/0.1MHz

可自选频率覆盖范围：

标准：87～108MHz （适用于除日本、德国、俄罗斯以外的其他各国标准）

德国：87.5～108MHz

日本：76～108MHz

俄罗斯：64～108MHz （含部分校园广播和国内2～5频道电视伴音）

短波（SW）2300～21950kHz，智能步进1kHz/5 kHz

中波（MW）522～1620kHz，智能步进1kHz/9kHz（适合亚洲、非洲及欧洲）

520～1710kHz，智能步进1kHz/10kHz（适合北美洲）

长波（LW）153～513kHz，智能步进1kHz/9kHz

■ 噪限灵敏度：

调频（FM）（S/N=30dB）优于3μV

短波（SW）（S/N=26dB）优于20μV

中波（MW）（S/N=26dB）优于 1mV/m

长波（LW）（S/N=26dB）优于 10mV/m

■ 选择性：

调频（FM）>60dB（±200kHz）

短波（SW）>60dB（BW=3kHz，±5kHz）

中波（MW）>60dB（BW=3kHz，±9kHz）

长波（LW）>60dB（BW=3kHz，±9kHz）

■ 调频立体声分离度：优于25 dB

■ 输出功率（失真10%）：

扬声器：≥230 mW

耳机：≥20 mW / 32Ω立体声耳机

■ 储存记忆数：共550个

调频（FM）100个

短波（SW）250个

中波（MW）100个

长波（LW）100个

■ 闹醒模式：广播电台闹响

■ 静态电流：

调频（FM）<25mA

短波（SW）<27mA

中波（MW）<23mA

长波（LW）<23mA

关机待机<40μA

■ 扬声器规格：

直径57mm/阻抗8Ω/功率0.25W纸盆扬声器

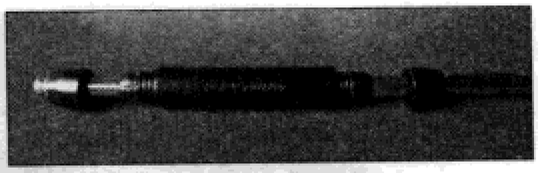
■ 供电方式：

电池（另购件）：2节R6（五号）干电池或充电电池

外接电源（另购件）：直流 5V≥250mA（USB 插口）

■ 重量：约 175g(不含电池)

■ 实物尺寸：宽127mm×高82mm×厚28mm



接驳天线结构

中波波段接收没有实用意义。如果想要提升中波的收听效果，可以考虑购买选配中波环形天线AN100或AN200。两个型号的环形天线差别似乎只是外观不同：AN100外观传统稳重、中规中矩，AN200外观显得简洁时尚，看起来更现代。环形天线由一个直径尺寸近230mm的大线圈与调谐用的可变电容组成一个LC谐振电路，改变电容参数调谐，让LC回路谐振于接收频率附近。由于大环线圈截面积远大于收音机内置中波选频线圈，它可以捕获空中更多的电波信号。当这些能量在LC电路里谐振时，通过近距离分布参数耦合，给收音机的调谐回路加强接收电台的信号强度。这个环形天线在中波范围内使用有明显的效果：一是在某些电台频率点，直接提升接收电台信号的强度，二是在某些干扰信号频率点形成陷波器，吸收干扰信号能量，改善接收信噪比。

外观

PL-606外观设计得不错，沉稳又不失时尚。整体外观方方正正，很规矩，细处适当的倒角圆弧处理，面板整体呈现轻微的弧度，很有现代感。塑料材质不错，手摸质感很好。

预置字符型 LCD 的液晶显示屏大小恰当。居中显要位置大字显示调谐频率数值，周边显示频率单位、电池电量、立体声状态、钟控状态、接收信号场强、信噪比等。字体笔画对比度高，显示效果清晰。

改善建议

虽然笔者很喜欢这款型号的收音机，但觉得美中不足还有一些值得改善的地方。

一是调谐及音量拨盘的手感。该机调谐及音量采用光电感应拨盘，操作时感觉有明显的“刻”，没有高档音响音量旋钮那种平顺润滑的感觉。毕竟只是售价200元的机器，拨盘操作感觉像30元的鼠标中键滚轮那也是可以理解和容忍的。

二是键盘背景照明。PL-606除了LCD显示屏有照明外，所有按键都没有背光。如果是在全黑的环境里操作，除非是很熟悉每个键的功能，否则不容易摸到需要的按键。好在现在的大屏幕手机很普及，黑暗环境下操作时可以临时借用手机屏幕的亮光看一看需要的按键在哪儿。

三是频率输入键盘。如果像PL-380有数字键盘供输入接收频率时使用，操作会更方便些。不过有了ETM搜索功能，似乎需要输入频率的机会不多。另外，在实际使用经验中，也很少能有预收电台频率参数的数据，实际需要输入精确频率的意义不大。

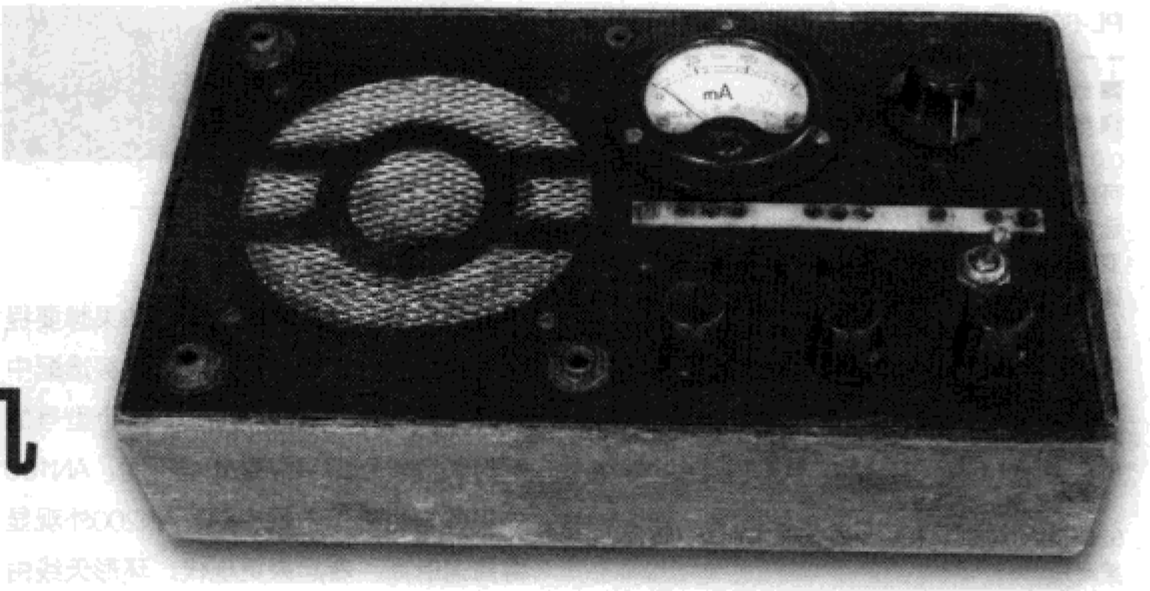
四是附件天线插头的改善。附件赠送的6m软导线天线通过一直头3.5mm单声道耳机插头与收音机相连。这个硬挺的直型插头插在侧面，使用时很有些妨碍，而且也容易让天线导线弯折损伤。如果改换为90°直角转弯插头，那就会完美许多，既不碍事，又保护天线导线，延长使用寿命。

第五算是个非分之想：让收音机能与计算机连接，并用计算机控制操作它。既然是数字电路控制的软件收音机，如果增加一个USB接口电路把它的MCU连接到计算机上，在计算机界面上控制操作收音机，就更接近软件无线电接收机了。当然，增加USB接口板另外还需要增加计算机操作系统支持的应用控制程序一定会破坏收音机的性价比优势。不过如果形成规模，今后的系列都采用这个方案，那应该还是有可能在不多的成本增加中获得突破性的新功能。互联网普及的计算机时代，如果收音机都能与计算机联网，那将会吸引更多的计算机爱好者加入使用收音机收听广播的行列里来，并让我们享受打开计算机用硬件听收音机的美好感觉！

收藏与鉴赏

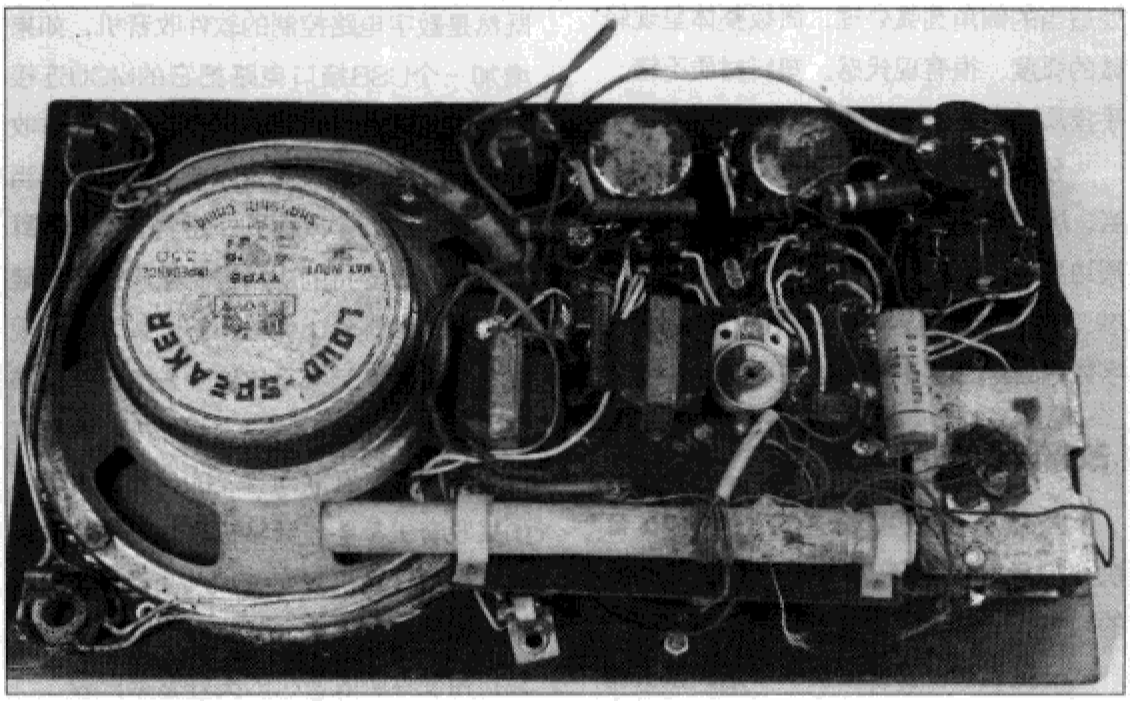
◇陈汉燕　徐蜀

晶体管试管机



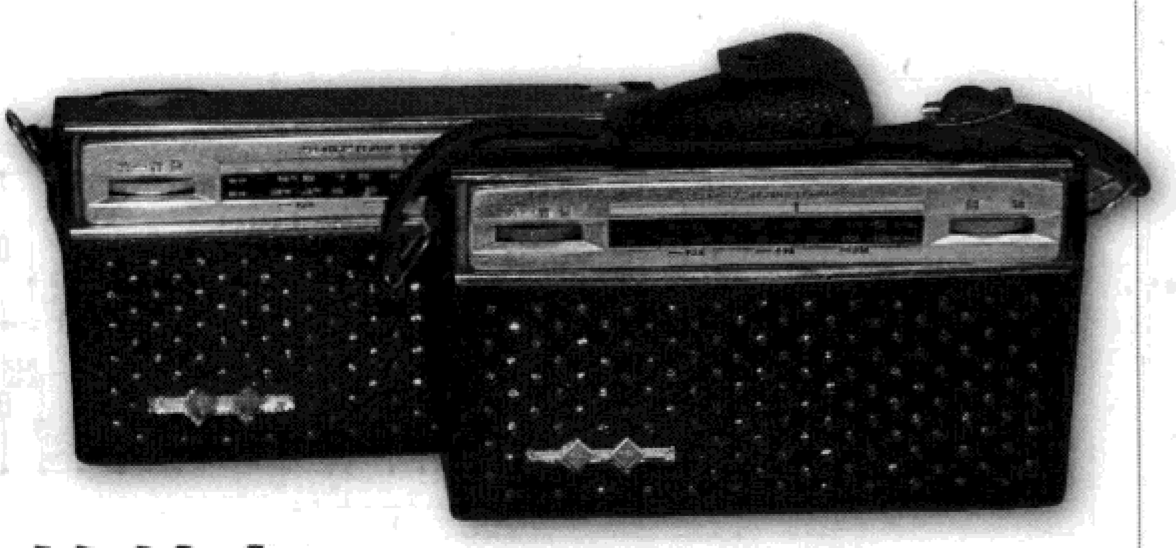
晶体管试管机大约兴起于20世纪60年代初。那时晶体管是贵重物品，不是一般人能买得起的。因此人们买管子时，一定要“眼见为虚，耳听为实”，听着管子唱得好才行。为此，出售晶体管的商店一般都要预备一台晶体管试管机。所谓试管机，其实就是一台特制的半导体收音机，在试晶体管子时，先开机收到电台广播，然后插上要出售的晶体管，再通过转换开关，使其代替机内的晶体管工作，听听响不响。我第一次见到晶体管试管机是在北京的王府井百货大楼。

1965年我13岁，在北京百货大楼花6元1角6分买了我的第一只三极管3AG14。买管子时，一位30来岁的女售货员非常有耐心地用试管机试了三四只管子，让我挑，我挑了一只声音最大的（以后才听说声大不见得好）买了下来。几天后，我在调试我的单管机时，三极管突然发烫，把我惊出了一身冷汗，马上拿着管子直奔百货大楼。还是那位女售货员，她很热情地帮我在试管机上试了一下。谢天谢地，管子还响，而且声音很洪亮。此后的一年里，我接长不短地去那里试管子（始终是那只3AG14）。那位女售货员不在时就有点麻烦，因为其他售货员不好说话，十有八九不理你。后来我发现，马路对面东安市场的一家电器行也有一台试管机，可以给人试管子。再后来，我又发现鼓楼、花市、北新桥、人民市场等地的电器商店都有那玩意儿。早先我只知道试管子响不响，后来又知道还能试管子的放大倍数。说来很可笑，我的那只3AG14的放大倍数最早是几十倍，后来变成100多倍，最后居然到了300多倍。开始还挺高兴，直到那位女售货员告诉我，这只3AG14已经快完了，穿透电流太大了，我才知道大事不好，才知道试管机还能测试管子的穿透电流。



我前些年收藏了一台当年的试管机，这是一台两管晶体管试管机，可以试高频三极管和低频三极管的好坏、放大倍数和穿透电流，还可以试扬声器的好坏。这台试管机上所用的元器件都是20世纪60年代至70年代的老货：空气单连、出口飞乐扬声器、色环电阻、纸介电容、金属喇叭网，尤其是那只ZK型高频三极管，绝对够酷、够档次。推想这台试管机应该是60年代至70年代一家中小型无线电器材商店用的试管机，不是个人所为。因为那个年代的这种试管机的造价已然不低，有此财力专制一机，去试验管子响不响的爱好者恐怕不多，也无此必要。从试管机的材料和工艺水平看，也不像是大型商店所用。比如北京市百货大楼，财大气粗，试管机一定是专业厂家制造，机器肯定要漂亮得多（我印象中也是如此）。

拯救有收藏价值的收音机



◇赵春云（BA3DX）

牡丹8402半导体收音机的修复

牡丹8402型半导体收音机是20世纪60年代的产品，其电路及外形结构在1965年第10期的《无线电》杂志上有介绍。牡丹8402型半导体收音机是袖珍式两波段超外差式收音机，其所有指标达到了当年国家二级收音机的要求，该机具有灵敏度高、选择性好、音质优美、性能可靠、体积小、外形美观及能耗低等优点。

牡丹8402型半导体收音机也是有收藏价值的收音机之一，所以很有必要拯救修复好该机。下面介绍打理及维修牡丹8402型半导体收音机的过程，供爱好者参考。

牡丹8402型半导体收音机内部结构如图1所示，电路图如图2所示。

机芯清理

打开后盖后就可以看到机芯和机盖上布满的尘埃，要让它恢复原样就需要做进一步的卫生清理工作。（1）将机芯从机壳内拆下来，如图3所示，分解后的机壳上的度盘、金属网、金属条，如图4所示。（2）清洗机芯之前必须把双联可变电容器及旋钮拆下来（双联可变电容器是不可以用水清洗的），如图5所示。然后用毛刷打好肥皂（注意不要用洗手液）对机芯进行去污清洗。把清洗后的机芯进行烘干处理，一般用家用吹风机热风挡烘干

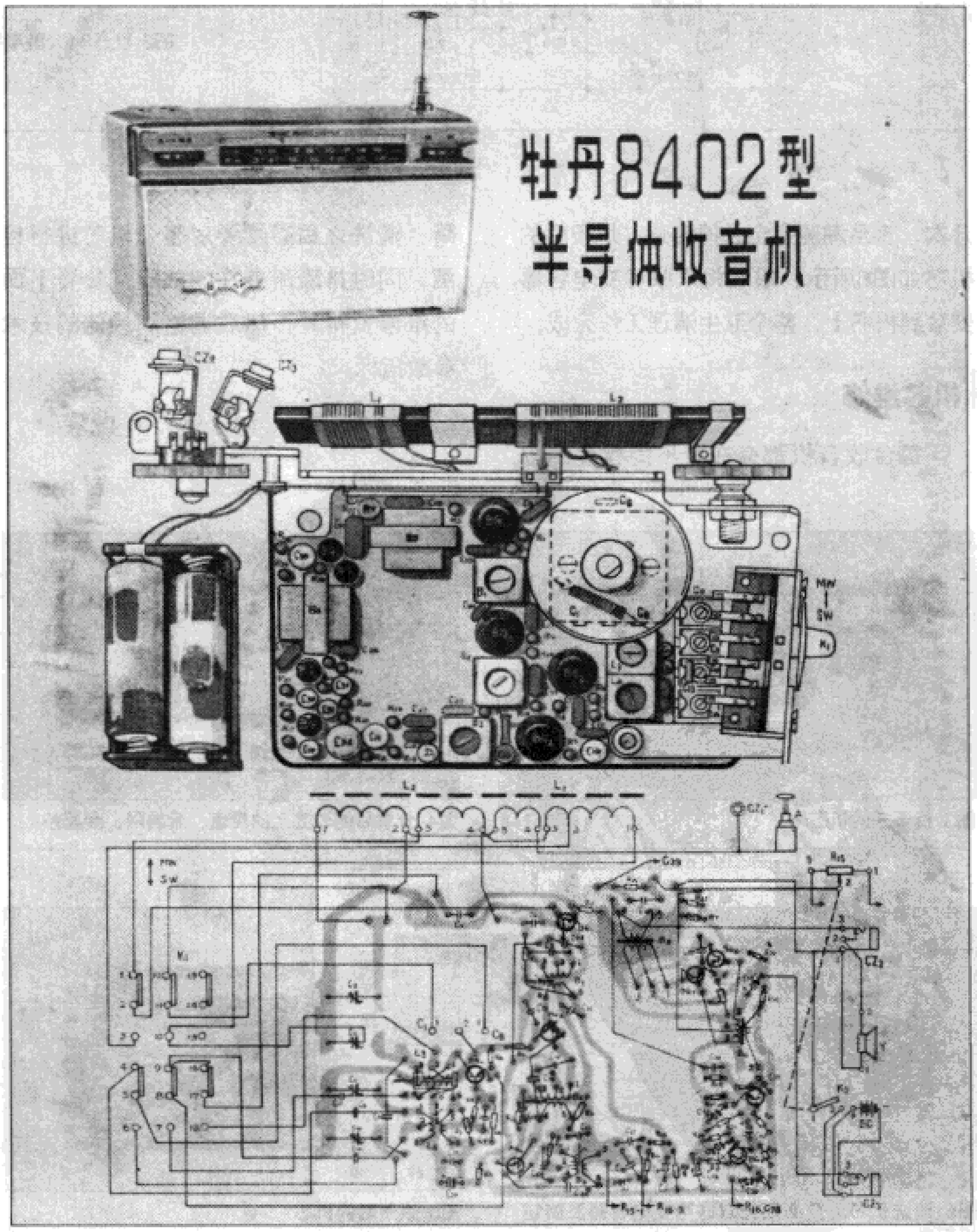


图1 牡丹8402型半导体收音机外形结构（刊登在《无线电》杂志上的老资料）

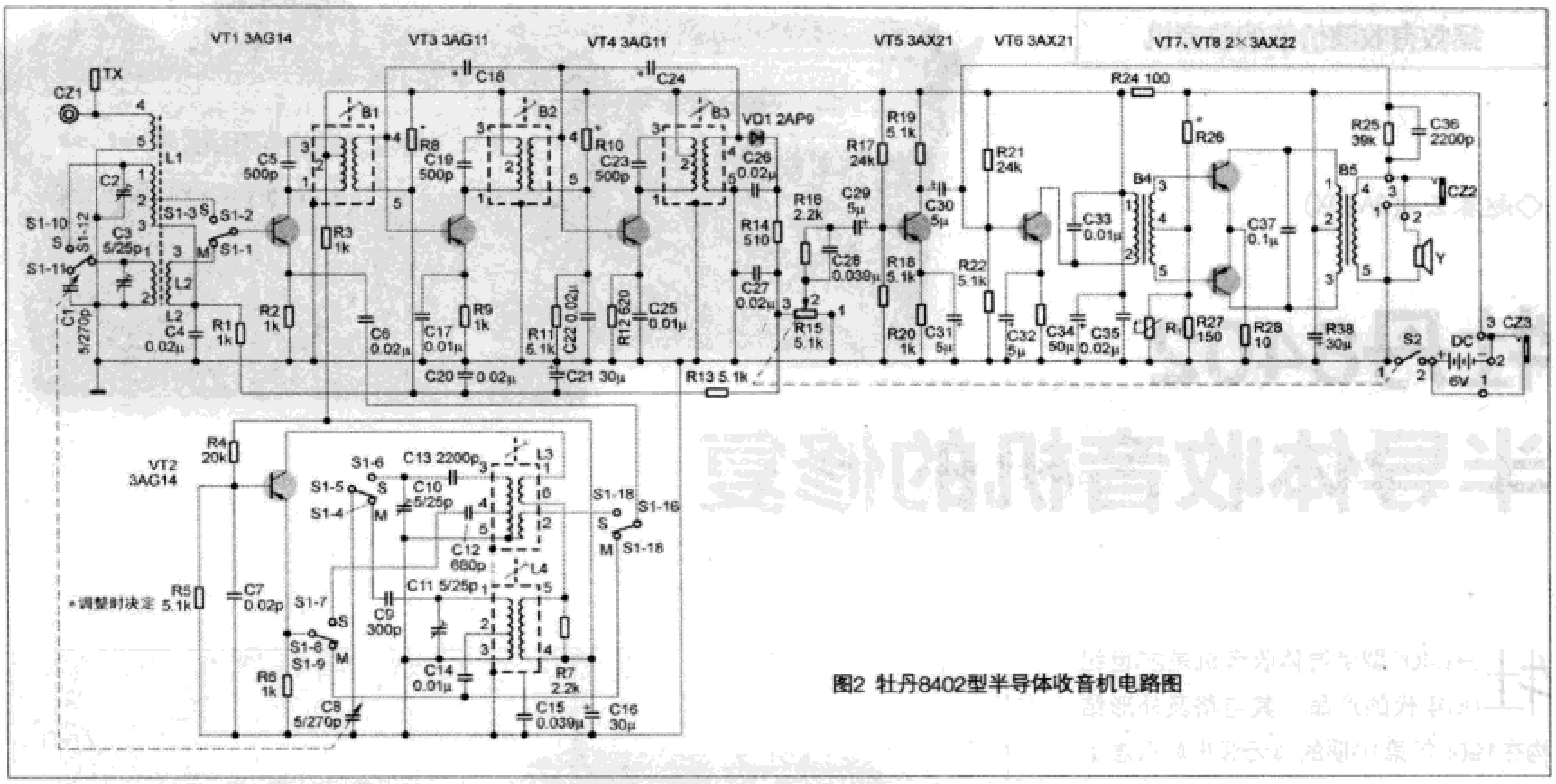


图2 牡丹8402型半导体收音机电路图

几次，直至潮湿完全去掉为止，烘干后的机芯如图6所示。最后将双联可变电容器安装到机芯上，整个卫生清理工作完成。

机芯维修

每台收音机都存在着不同程度的故障，清洗之后必须要对整个机芯进行检测，同时排除所存在的故障（参看下面的维修资料），然后调整到最佳的技术参数指标。

组装

按照拆卸的顺序重新装回机壳上的金属网、边框条、频率度盘等，把音量旋钮和调谐旋钮装回到机芯的相对应的位置上，装上拉杆天线和屏蔽盖，如图7所示，扣上后盖，组装完毕。

经过以上的打理维修，牡丹8402型半导体收音机又展现出当年的风采，如图8所示。

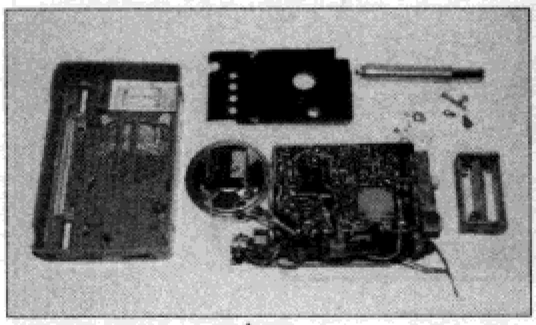


图3 拆下来的机芯

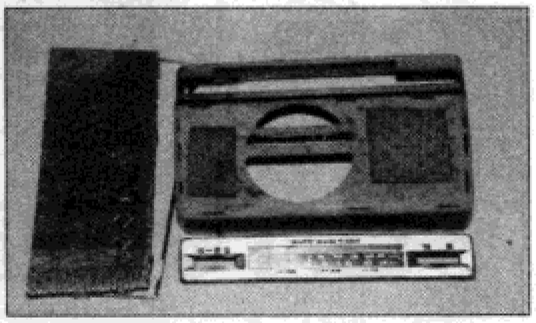


图4 分解后的机壳上的度盘、金属网、金属条

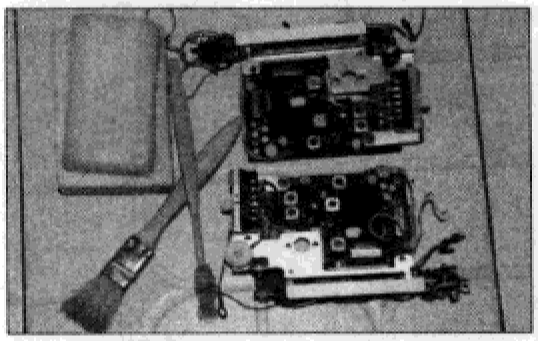


图5 清洗机芯之前必须把双联可变电容器及旋钮拆下来

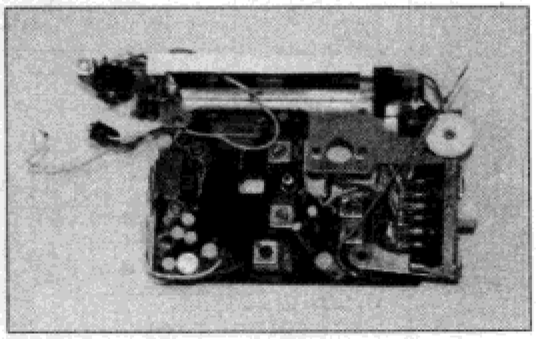


图6 烘干后的机芯

维修资料

牡丹8402型半导体收音机常见的故障维修实例

实例1 接通电源，开机无声。

检修时，使用维修电源，电压调整到6V的位置上，把正负极分别接到收音机机芯的正负连接线上，打开音量电位器的开关，发现瞬间电流超过1A，常见原因是C36/30μF电解电容器严重漏电，更换一只好的接近同型号电解电容器后，故障排除。

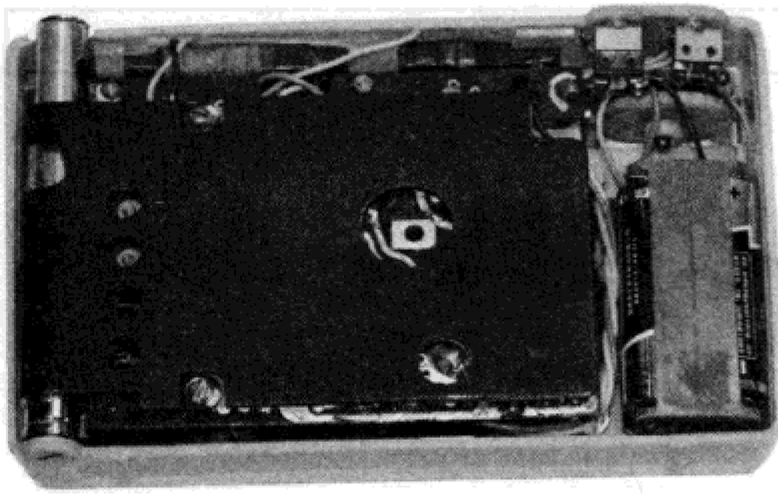


图7 装上拉杆天线和屏蔽盖

实例2 接通电源，开机无声。

经测量，电源电压（6V）正常，低频放大电路各极电压也正常，最后发现输出变压器的次级（4）的引线与电路板之间断路（发霉氧化），焊掉输出变压器，把断开的引线去污后重新焊好，故障排除。

实例3 打开开关，扬声器里只有“咔”的一声。

使用维修电源，连接好电源线，打开开关，电源电压由6V降到3V左右，电流上升到0.3mA左右，常见原因是C34/50μF电解电容器漏电所致，更换同型号电解电容器后，故障排除。

实例4 声音失真（接收电台信号正常）。

重点检查低频放大电路，常见故障是推挽电路的VT7、VT8（3AX22）三极管其中的一只管子引脚氧化断开，把两只三极管从电路板上焊下来，测量其中好的那只三极管的放大倍数，再找一只相近值的三极管用来代替坏的那只三极管，重新将两只三极管焊回原处，试机，声音恢复正常，故障排除。

实例5 声音小（不失真）。

经测量，低频放大电路各极电压基本正常，三极管VT5、VT6（3AX21）正常，常见故障是C32/5μF、C31/5μF、C30/5μF、C29/5μF电解电容器中的某只或几只容量减小，更换近似同型号的电解电容器后，故障排除。

实例6 开机有杂音或音量不能关到最小。

常见故障是电位器R15电阻碳膜接触不良或损坏，首先用清洗剂清洗后试试开机时杂音能不能除掉，如不能去掉杂音，更换一个好的5.1kΩ开关电位器，故障即可排除。

实例7 在频率高端收台正常，频率低端收不到电台。

800kHz以上收听广播电台正常，而且频率也没有偏差，800kHz以下收不到任何电台信号，常见故障是C21/30μF电解电容器漏电或容量减小，更换近似相同型号的电解电容器后，故障排除。

图8 焕然一新的牡丹8402型半导体收音机又展现出当年的风采

实例8 调节电台时扬声器里有“咔啦、咔啦”的杂音声。

此类故障一般为C1、C8（2×5/270pF）双联可变电容器在调节电台时内部产生静电所致，应急维修方法：将双联可变电容器从电路板上焊下来，使用维修电源，把电压调到15V左右，正极接双联可变电容器的定片，负极接双联可变电容器的动片，接好后左右旋转双联可变电容器几次，随后调换正负极再次旋转双联可变电容器几次，经过上述处理后双联可变电容器内部的静电就可以消除了，调台出现杂音的现象即可排除。

实例9 音量开到最大，有很强的噪声，但收不到电台信号。

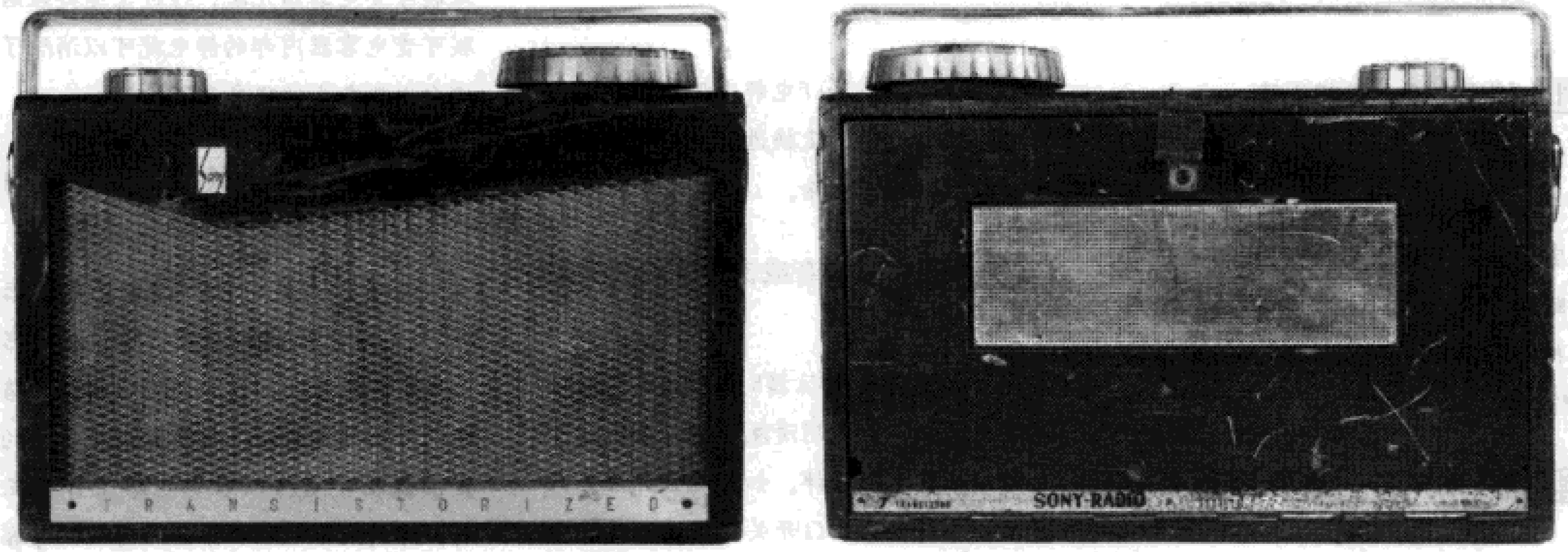
音量开到最大时，在音量电位器的（3）与地之间注入音频信号，扬声器输出的声音正常，用改锥碰触C1调谐回路双联电容器的定片时，扬声器里有很强的噪声，说明变频级以后的电路工作是正常的，再用改锥碰触C8振荡回路双联电容器的定片时，扬声器里没有噪声，说明振荡电路没有正常工作，重点检查振荡电路，用万用表直流电压挡测量VT2（3AG14）集电极电压，电压只有0.6V（不正常），VT2（3AG14）集电极的正常电压应为4.6V左右，常见原因是C16/30μF电解电容器严重漏电，更换新的C16后，故障排除。

收藏与鉴赏

◇陈汉燕　徐蜀

一台有故事的半导体收音机

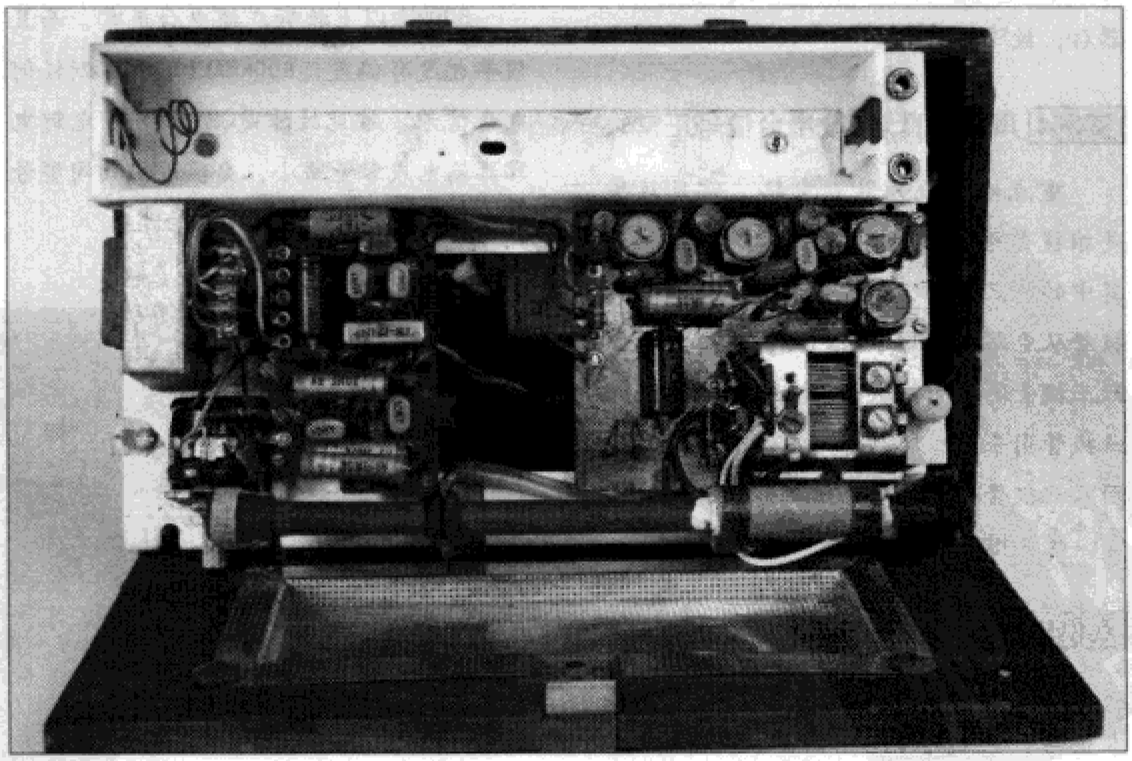
索尼TR-72收音机



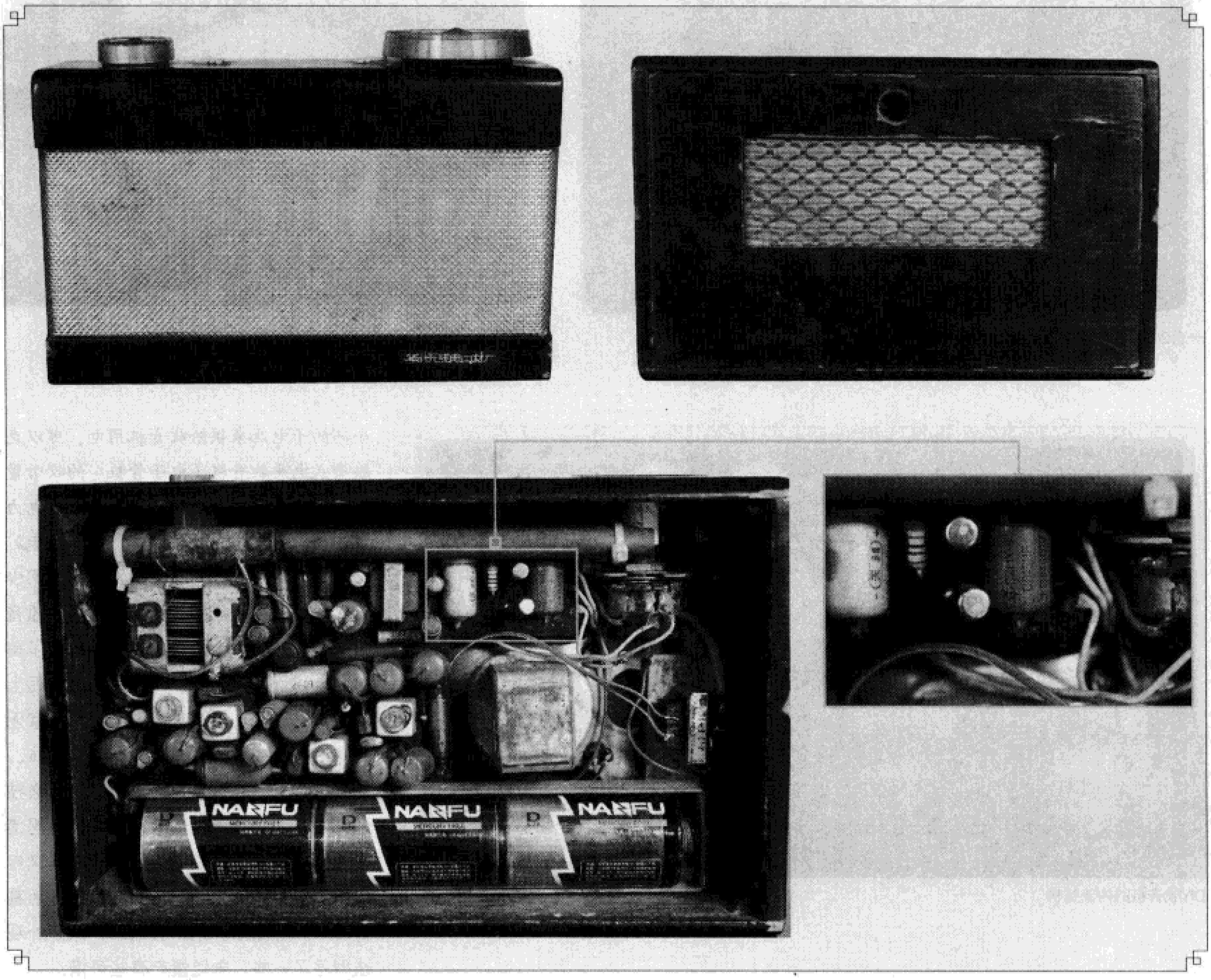
几年前，朋友郁君从一位老华北无线电器材联合厂职工那里得到两台该厂20世纪60年代初试制的半导体收音机。当时两台机器都没有旋钮了，一台机壳右下方有厂标，这两台都不能收音。郁兄将其中一台送给了朋友翟君，另一台后来赠予南方一位收音机收藏家。

近日，翟兄把这台珍贵的半导体收音机精心打理，恢复功能后，转送给我。这台半导体是木质机壳，外观及内部应该是仿日本索尼TR-72的，是7管机，仿得不很像，意思却是到了。

华北无线电器材联合厂始建于1952年，为当时的民主德国所援建，位置在北京酒仙桥地区。1953年改厂名为“718联合厂”，“华北无线电器材联合厂”为其


索尼TR-72收音机内部结构

华北厂半导体收音机

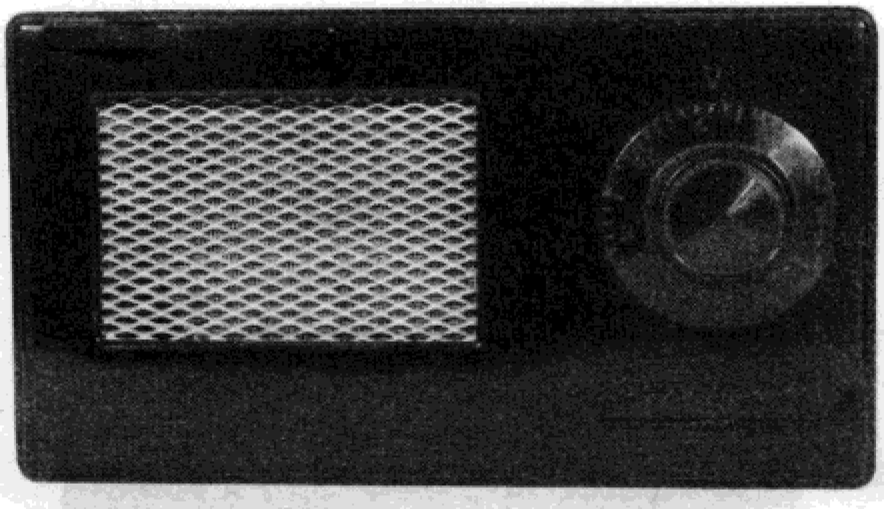


第二厂名。联合厂内分六个分厂和一个研究所。华北厂不仅制造扬声器、变压器、电阻、电容等无线电元器件，还曾装配过5灯收音机成品上市。其产品上印有两个相连圆圈的图案，俗称双环。双环电阻、电容、扬声器和输出变压器在20世纪50年代至60年代的普及率非常高，很多老机中都能见到它们的身影。

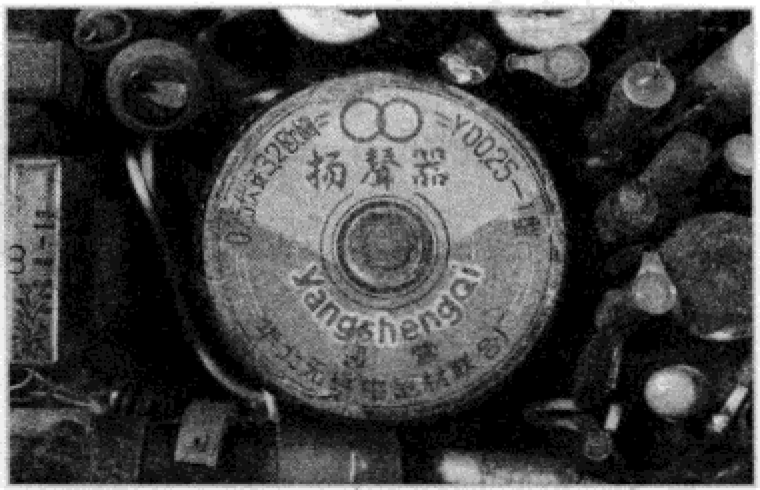
华北厂产品素有货真价实的传统，这台半导体也是如此。那一堆个头巨大的电容就很说明问题，型号为CZMX-1，耐压400V，精度为5%，1960年5月出厂，历经50余年仍完好如初，比进口产品一点不差。扬声器是5英寸的，大概为了尽可能地上档次，居然没有使用本厂的名牌双环扬声器（翟兄考证说是前苏联的）。原来7只三极管都是老ZK型，但打理后只剩下2只，其余全坏了，换上了新管。鱼与熊掌不可兼得的道理在这里得到了验证：机器现在的状态很好，灵敏度极高，满刻度盘都是电台，抗干扰性也不错，声音很干净。

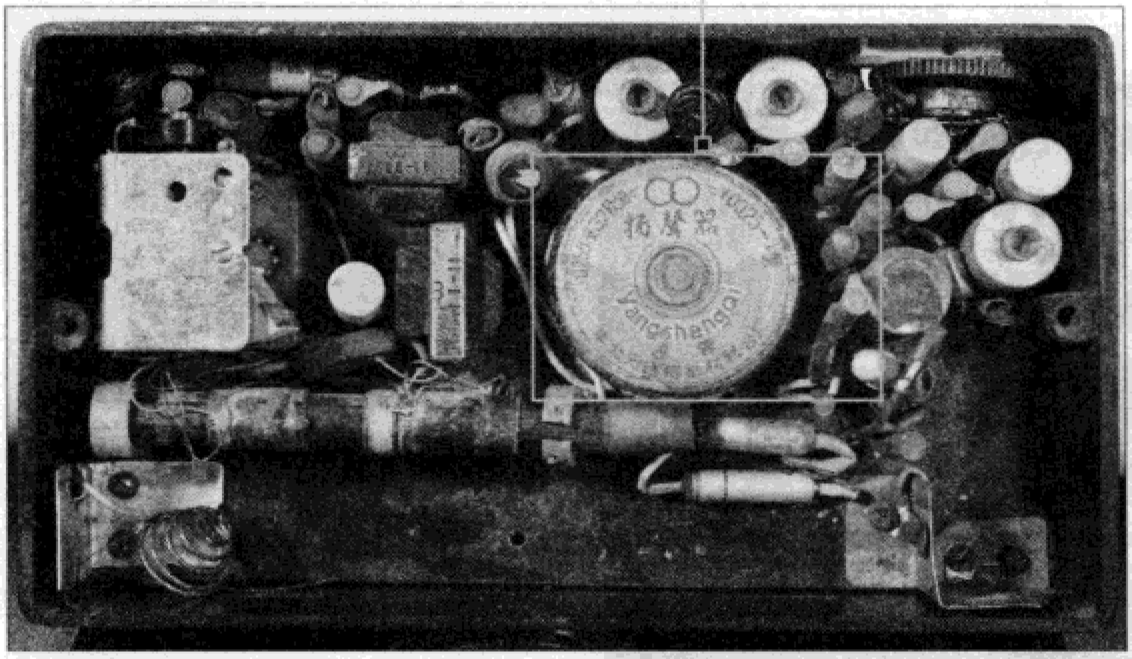
翟兄没有见到过原机旋钮，完全凭借经验和感觉，用钢板和钢管DIY了两个旋钮，相当精致。当然，能够配上近似原物的旋钮更好，据说原机旋钮与TR-72相似，因此我把手头一台索尼TR-72的旋钮拆下来安到这台机器上，非常合适。原本两机的尺寸和风格就差不多嘛。我这台半导体的厂标缺失了，仿照另外一台做了一个。现在机器还缺个提手，有时间再DIY吧。

1959年初，全国第一届收音机观摩评比会后，有关方面对国家即将大力发展半导体收音机的决策，作出了明确的表示：“今后半导体收音机大量生产后，用



一台20世纪60年代初DIY的收音机





DIY收音机的内部结构

双环牌中频变压器（中国制造）

小巧的干电池来供给收音机用电，可以克服旧式电池收音机（电子管机）的收听费用高和设备笨重等缺点，在暂时没有电力供应的农村也可广泛使用”（《无线电》1959年1期转引石英的讲话）。此后不少无线电厂和研究所即开始研制半导体收音机。1962年，上海无线电三厂推出了美多28A8管便携式半导体收音机，随后上海无线电二厂、北京无线电厂、南京无线电厂相继生产出飞乐2J1、牡丹2041、熊猫B301、302等半导体收音机。想必技术、设备力量雄厚的华北无线电厂也想借此机会大展宏图。实话说，华北厂的这台机器用料扎实，坚固耐用的程度，远超其他各厂，性能指标也不会落后，只是外观造型差了一些，未能量产有些可惜。

其实华北无线电器材厂生产半导体元器件的历史比较悠久，只不过早期的产品并未上市销售。我收藏了一台该厂职工20世纪60年代初DIY的半导体收音机，其中的中频变压器（中周）、输入输出变压器、电阻电容、扬声器等元件都是华北厂的产品。收音机内部磁棒的布局很不合理，显示了当年无线电爱好者刚接触半导体收音机时的幼稚无知。但在那个年代，能够制作多管超外差式半导体的人，也是相当了不起了。收音机里面的元件都是我国早期的半导体器件，留存下来的已经不多，具有很高的收藏价值。

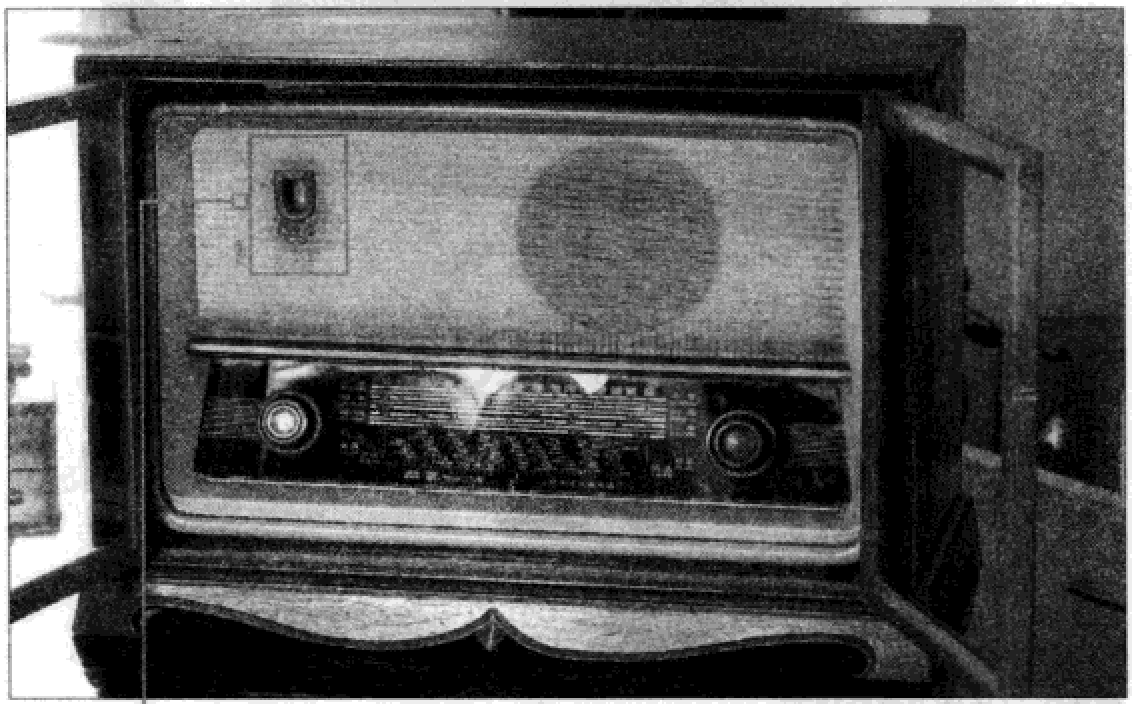
收藏与鉴赏

◇陈汉燕　徐蜀

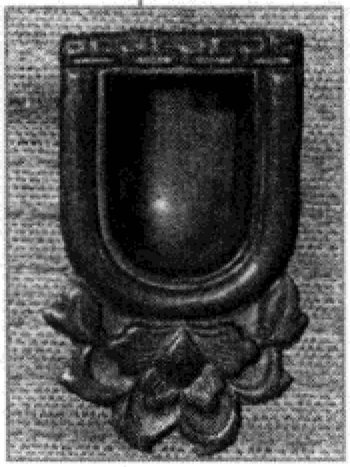
50年前爱机人的杰作
——凤凰5961型六灯电子管收音机

50年前，我们国家还比较贫穷，收音机是百姓家中的“一大件”，多数人对收音机都是爱惜有加。我收藏了一台带小柜子的凤凰5961型六灯电子管收音机，它生动体现了当时收音机在人们心中的崇高地位。

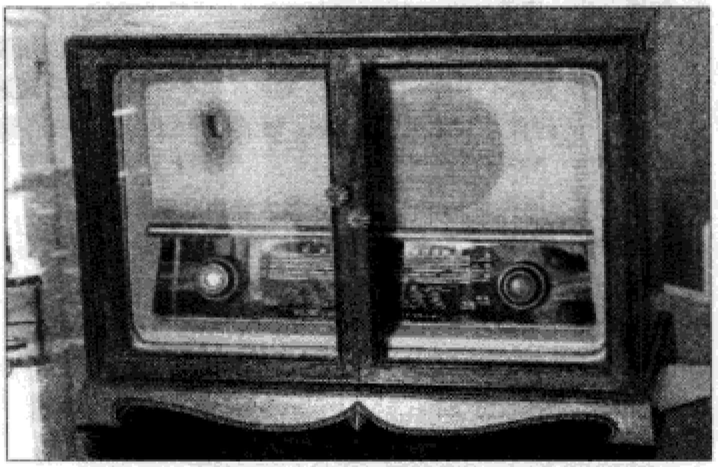
先简单介绍一下凤凰5961收音机。据文献记载，第一台凤凰牌收音机是著名的701型，大致生产于1957年，当时的厂名还是北京市生产合作总社电器制造厂。1958年该厂更名为北京市无线电制造厂，并扩大了生产规模。1959年是凤凰牌收音机最为辉煌的时期，其中最风光的又当属5961型六灯收音机。5961型收音机不仅产量高，造型也很丰富，我手头便有4种不同款式的5961型收音机。其一为“猴脸”型，其二为机箱直角型，其三为机箱圆角型，圆角型的又因猫眼形状的不同分成两种：普通猫眼与花型猫眼。所以5961总共有4种不同的造型，4种5961型的度盘完全一样。还有一点顺便说一下，凤凰六灯机多是“左撇子”，猫眼在前脸的左边。



外形（打开柜门）



收音机的猫眼



外形（关上柜门）

还是言归正传，说说我这台带小柜子的5961型收音机吧。据我回忆，50年前，一般的干部或知识分子家庭，用五灯收音机的居多，能用上六灯机的，家境就相当不错了。这台收音机原来的主人就应算家境不错的了，不仅家境不错，他（她）大概还有相当的艺术修养。您看，当时的六灯机不乏大厂名牌机，如上海、飞乐、美多、凯歌、牡丹、熊猫等，但他（她）偏偏选择了名不见经传的凤凰牌收音机。千百年来，凤凰一词在国人心目中就是吉祥、尊贵、美丽的象征，这大概是收音机主人选择它的第一个原因。另外，凤凰收音机的造型确实别出心裁、富贵典雅，再加上花型猫眼，很容易打动强调艺术性与注重细节的人。

再仔细观察小柜子，造型极具民族性，与中国所独有的“凤凰”珠联璧合。柜子的用色也与收音机浑然一体：红色、绿色、描金，都恰到好处。难得的是，收音机的边框还认真勾了一圈绿色，与柜子边框的绿色遥相呼应，相得益彰。其实，当年为收音机或电视机做个柜子的情况并不少见，我这里也收藏了不止一件，但做得如此精致漂亮的却不多。这个小柜子不仅能够保护收音机，还具有很强的装饰性，也是一件不可多得的艺术品。

拯救有收藏价值的收音机

熊猫B-11 10波段16晶体管收音机的修复

◇赵春云（BA3DX）

熊猫B-11 10波段16晶体管收音机是20世纪70年代的试制品，产量少，也是比较少见的机型之一，是很有收藏价值的收音机，在维修之前需要对电路基本概念有一些了解（重绘的电路原理图可到《无线电》杂志网站上下载）。

熊猫B-11的技术参数如下：

1. 频率范围：中波 535～1605 kHz
   短波1 1.6～3.2 MHz 短波2 3.2～4.2 MHz 短波3 4.2～5.6 MHz
   短波4 5.6～7.4 MHz 短波5 7.4～9.7 MHz 短波6 9.7～12.8 MHz
   短波7 12.8～16.8 MHz 短波8 16.8～22 MHz 短波9 22～26 MHz
2. 中波频率：465kHz
3. 输出功率：不失真功率500mW，最大输出功率1.5W
4. 扬声器：4英寸×6英寸椭圆形 8Ω阻抗
5. 电源：直流9V 1号电池6节 交流110V/220V
6. 电源消耗：无信号时小于35mA、额定功率输出时155mA
7. 灵敏度：中波不劣于0.5mV/m 短波不劣于50μV
8. 选择性：不劣于36dB
9. 中波：磁性天线，外接天线，短波：拉杆天线，外接天线
10. 体积：412mm×212mm×112mm
11. 重量：约7kg（包含电池）

熊猫B-11使用16只晶体三极管各自的作用分别如下：

1BG3 3DG11B 共射—共基级联高频放大电路
1BG 4 3DG11B 共射—共基级联高放电路
1BG 7 3DK7B 本机振荡电路
1BG 5 3DG11B 混频电路
2BG 1 3AG25 共射—共基级联中频放大电路
2BG 2 3AG25 共射—共基级联中频放大电路
2BG 3 3AG25 中频放大电路
2BG 4 3AG29 自动增益控制放大电路
2BG 7 3BX02 稳压调整电路
2BG 9 3AX24 低频放电路
2BG 10 3AX24 低频放电路
2BG 11 3AX22 低放激励电路
2BG 12 3AX62J 推挽输出电路
2BG 13 3AX62J 推挽输出电路
2BG 18 3AD4 交流整流稳压调整电路
2BG 19 3BX02 交流整流稳压调整电路

电路特点

1. 高频部分采用了级联高放电路，这样可以改善收音机的灵敏度。

2. 中放部分采用了高选择性的陶瓷滤波器，这样可以改善收音机的选择性。

3. 增加了自动增益控制放大电路，使电路增益更高、更稳定。

4. 高、中频部分的电源都由内部的稳压电路供给，提高了电路的稳定性。

收音机拆卸

熊猫B-11收音机在设计上是比较复杂的机型，拆卸时要按照步骤进行，不要造成人为的损坏。

1. 淘来的熊猫B-11 10波段16晶体管收音机当初的面目如图2所示。

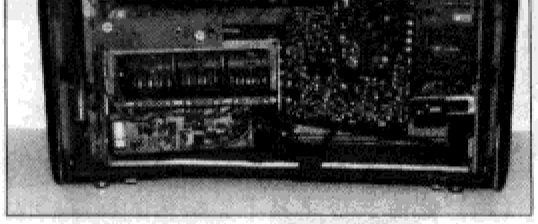


图2 熊猫B-11 10波段16晶体管收音机损毁情况

2. 将机芯从机壳内取出来，机芯的实物如图3所示。

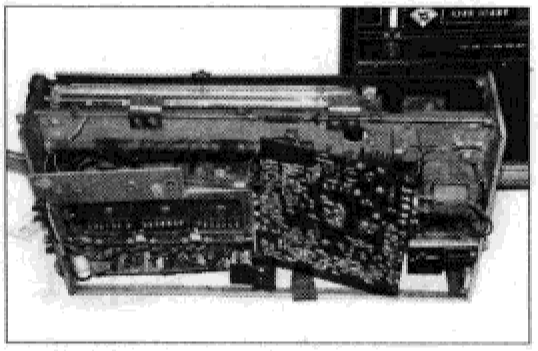


图3 机芯的实物

3. 拆下鼓型波段开关旋钮、波段指示滚筒皮带及齿轮，如图4所示。

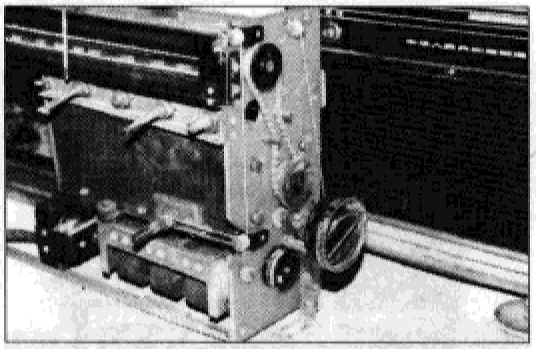


图4 高频头鼓型开关旋钮及波段指示滚筒皮带

4. 将鼓型波段开关从机架上拆下来，如图5所示。

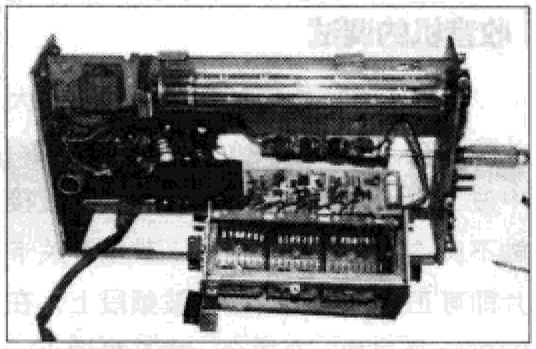


图5 从机架上拆下鼓型波段开关

5. 拆下机架上的电路板，如图6所示。

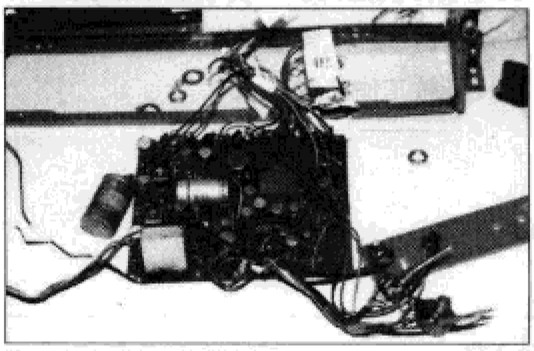


图6 拆下机架上的电路板

6. 拆下波段指示滚筒，如图7所示。

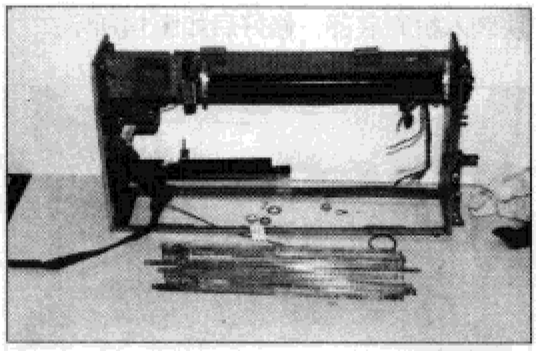


图7 拆下波段指示滚筒

7. 鼓型波段开关的分解，如图8(a)所示，其中图8(b)是波段开关的鼓，图8(c)是变频、振荡、混频电路的电路板，图8(d)是三联可变电容器。

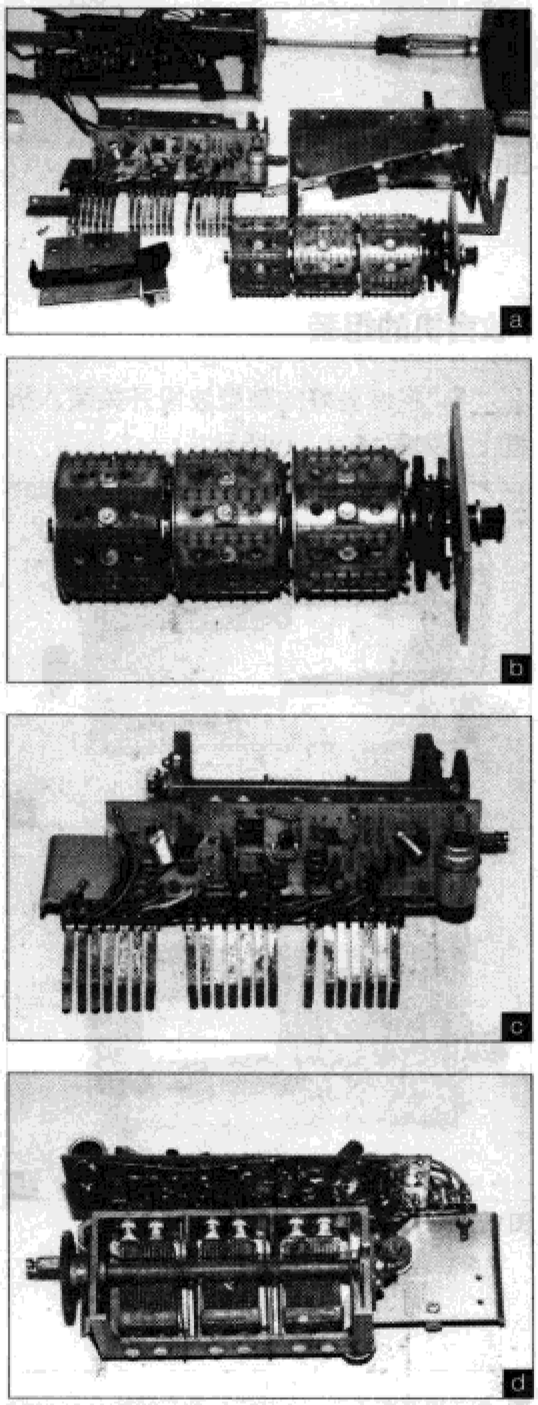


图8 鼓型波段开关的分解

卫生清理

1. 清洗收音机的中框、电路板及其附属件等，如图9所示。

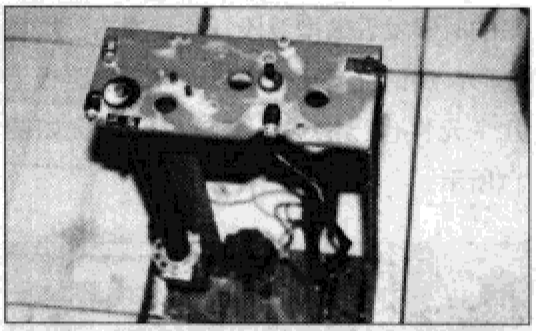


图9 清洗收音机的中框、电路板及其附属件等

2. 清洗后的收音机的中框、电路板、提手及旋钮，如图10(a)、(b)、(c)、(d)所示。

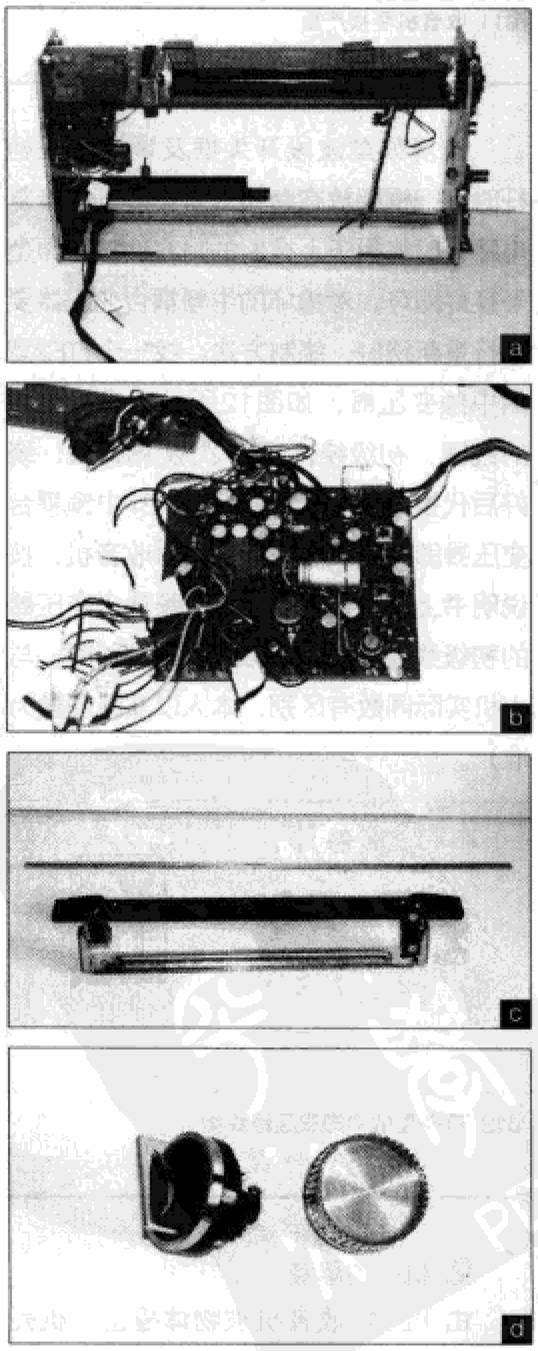


图10 清洗后的收音机的中框、电路板、提手及旋钮

收音机的维修

1. 鼓型波段开关的修复

熊猫B-11 10波段16晶体管收音机淘来的时候发现鼓型波段开关受撞击已严重变形，调谐旋钮柄杆也已损坏，电路板上几个元件也已损毁，整体损坏情况如图11所示。

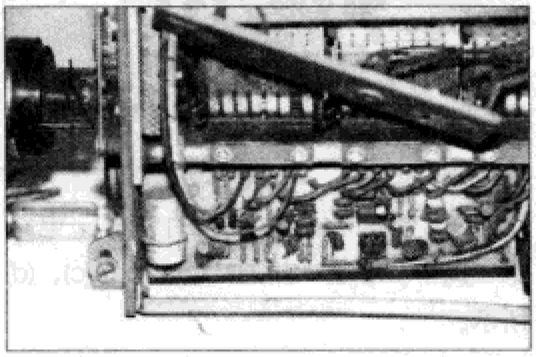


图11 收音机受损严重

修复鼓型波段开关框及调谐旋钮柄杆时，把框架放在台钳上矫正即可，修复电路板时将板子上撞断的阻容件按照原型号换好即可。对撞坏的中频耦合变压器要进行重新绕制，绕制方法：找一个TTF2型的中频变压器，如图12所示，拆掉上面的线圈，初级绕70圈，次级绕30圈，绕好后代换电路板上的已损坏1B7中频耦合变压器即可（说明：熊猫B-11收音机，按说明书上的参数指标1B7中频耦合变压器的初级线圈为94圈，次级线圈为9圈，与本机实际圈数有区别，本人以实际圈数为准）。

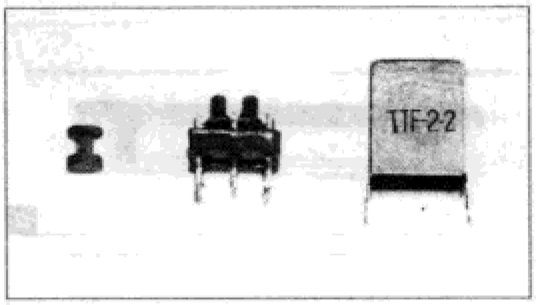


图12 TTF2型的中频变压器实物

2 机壳的修复

由于B-11收音机被物体撞击，机壳底部被折断，如图13所示，修复时按照原始的底板尺寸，用五层板进行复制，一块装入机壳底部，修好后如图14所示。

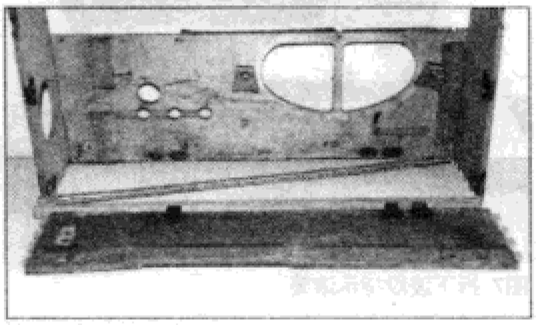


图13 折断的机壳

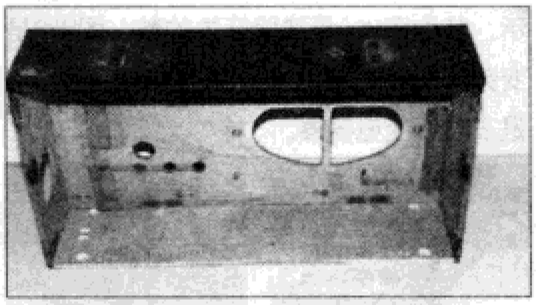


图14 机壳底板的修复

收音机的组装

1. 将修复好的鼓型波段开关装入机框上，如图15(a)、(b)所示。

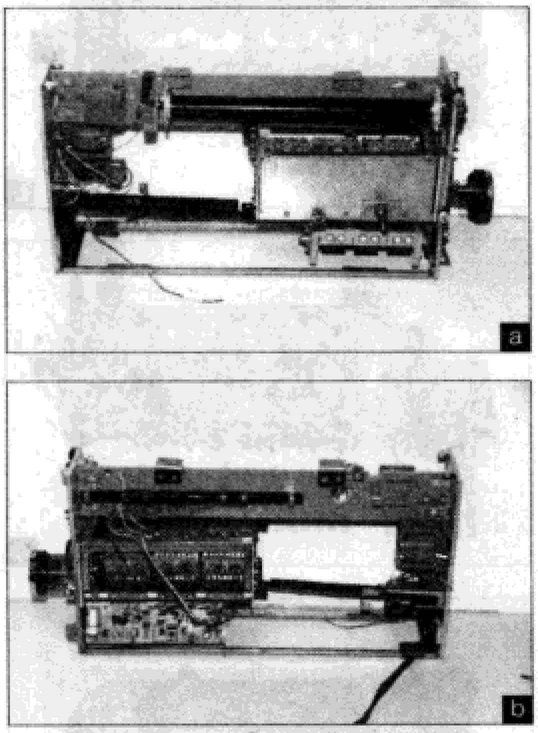


图15 将修复好的鼓型波段开关装入机框上

2. 将电路板装入机框，如图16所示。

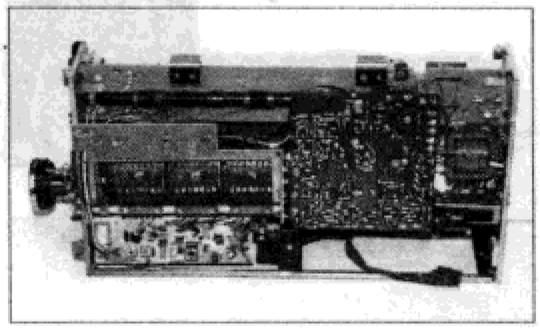


图16 将电路板装入机框

3. 将波段指示条装入滚筒上，接下来把电位器、拉线等一起装好，如图17所示。

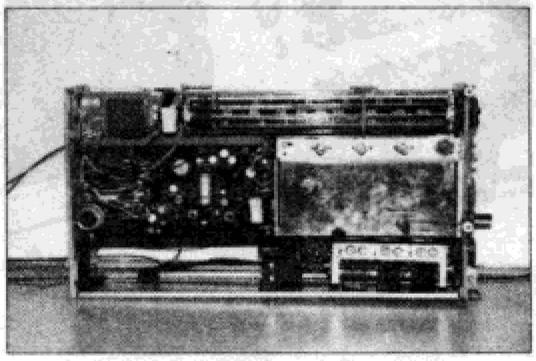


图17 装好波段指示滚筒、电位器、拉线等

收音机的调试

直观上看，熊猫B-11收音机没有大故障存在，接上外接9V直流电源试机，中波工作正常，转换短波有个别频段接触不良，这时只要调节一下鼓型开关卡片即可正常，再次转回中波频段上，在640kHz处寻找一个电台，将音量调小一点，用无感改锥调整1B7中频耦合变压器的磁芯，至声音最大，调试完毕，最后把机芯装回机壳内。一台崭新的熊猫B-11 10波段16晶体管收音机展现在你的眼前，拯救工作完成。

■ 相关电路图请到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载。

拯救有收藏价值的收音机

◇赵春云（BA3DX）

黄山牌65-5-A型晶体管收音机复原、维修全过程

黄山牌65-5-A型晶体管收音机，是20世纪60年代期间生产的，有着浓厚时代色彩的收音机，也就是收藏爱好者们俗称的“文革机”或“语录机”，原产于合肥无线电厂，是很有收藏价值的收音机之一。

由于年代已久，此机的金属板上布满了锈蚀，要对整个机芯进行元件分解清理工作。清理工作之前的黄山牌65-5-A型晶体管收音机的外观实物，如图1所示，电路原理图，如图2所示。

图1 清理工作之前的黄山牌65-5-A型晶体管收音机实物

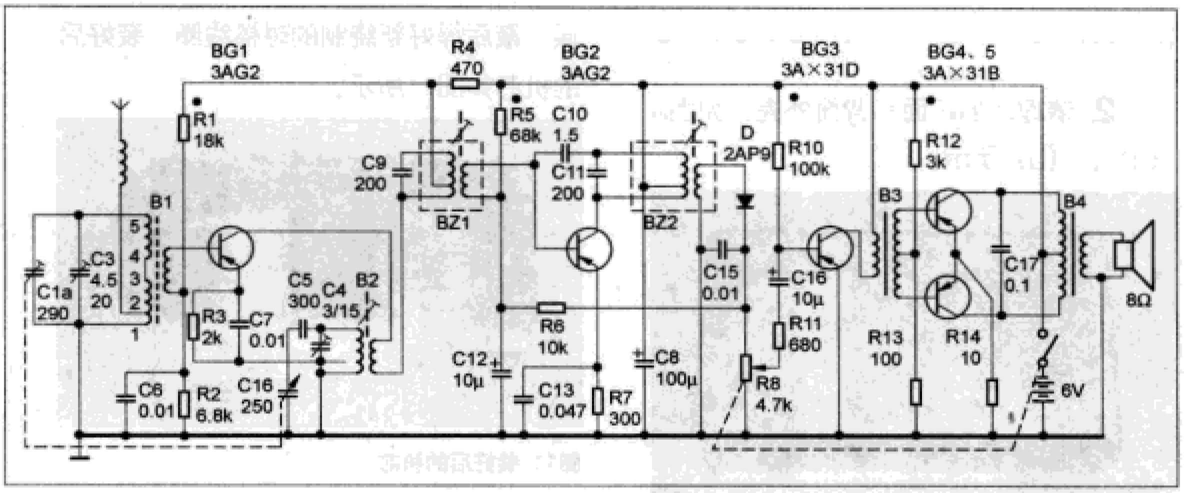


图2 黄山牌65-5-A型晶体管收音机电路原理图

收音机拆卸

1. 淘来的黄山牌65-5-A型晶体管收音机的机芯已经破烂不堪，如图3所示。

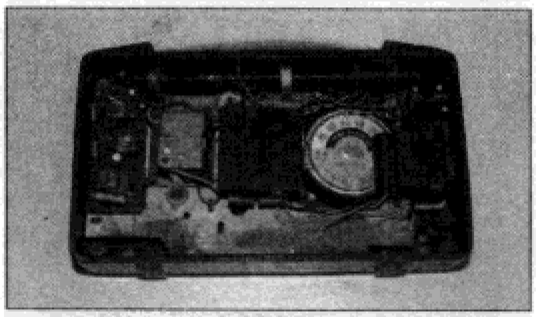
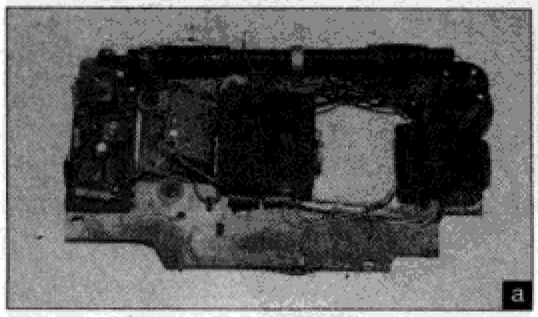


图3 机芯部分

2. 将机芯从机壳内取出来，机芯正面、机芯背面、机壳的实物，如图4（a）、（b）、（c）所示。



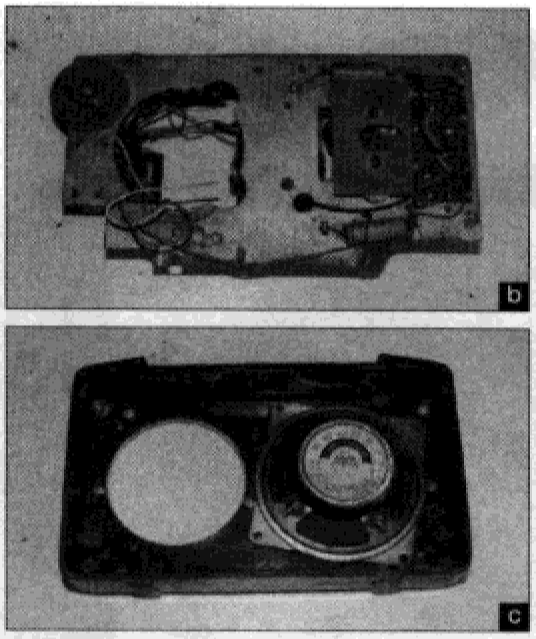


图4 实物

3. 从金属板上拆卸分解后的元件，如图5（a）、（b）所示。

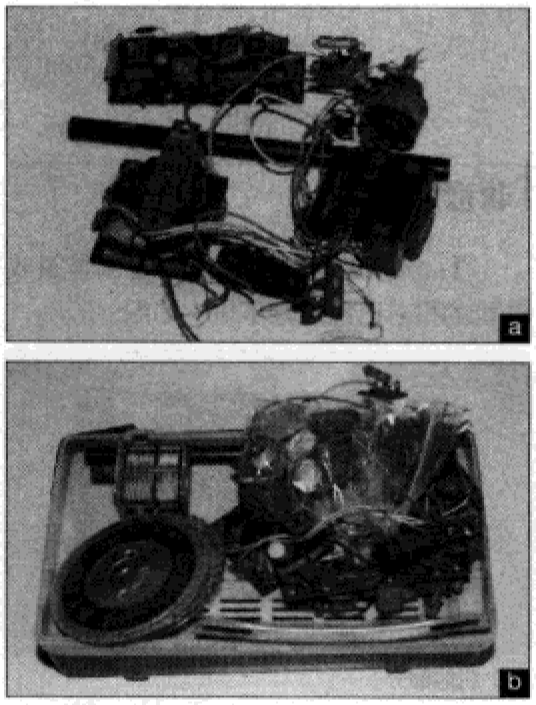


图5 拆卸分解后的元件

4. 从金属板上拆卸分解后的附属件，如图6所示。

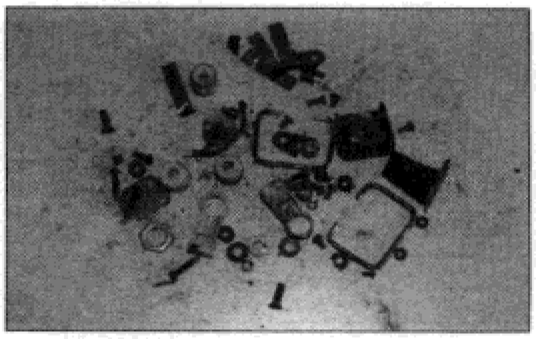


图6 拆卸分解后的附属件

5. 拆下来的机芯金属板，如图7所示。

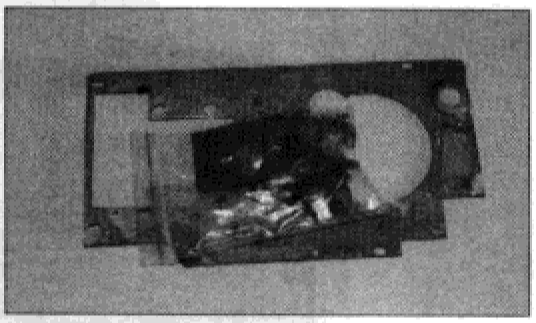


图7 机芯金属板

金属件镀锌、元器件及外壳的卫生清理

1. 由于机芯金属板和金属附属件的严重锈蚀，在有条件的情况下要进行一次镀锌工作，使其恢复原貌。

镀锌后的机芯金属板、金属附属件，如图8（a）、（b）所示。

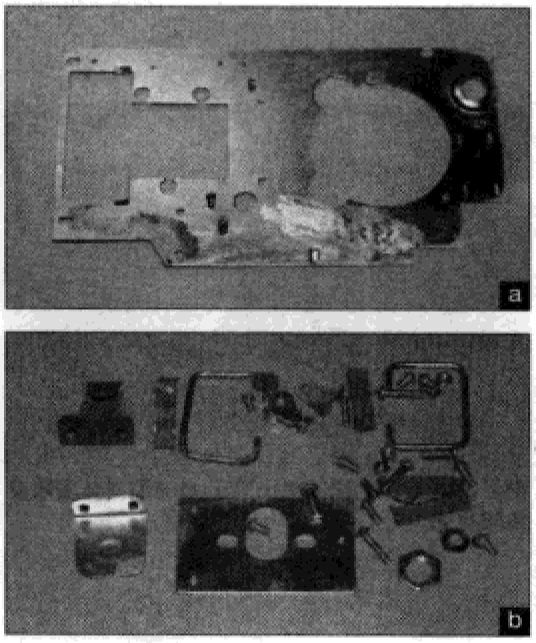
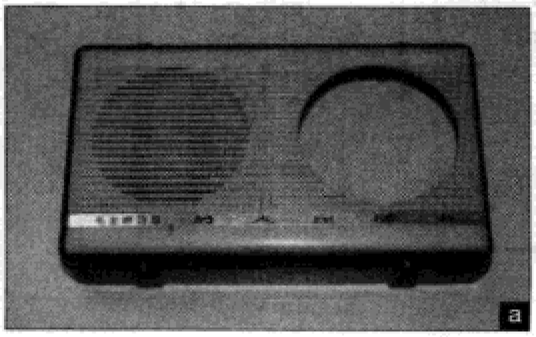


图8 镀锌后的零件

2. 清理后的正面和背面外壳，如图9（a）、（b）所示。



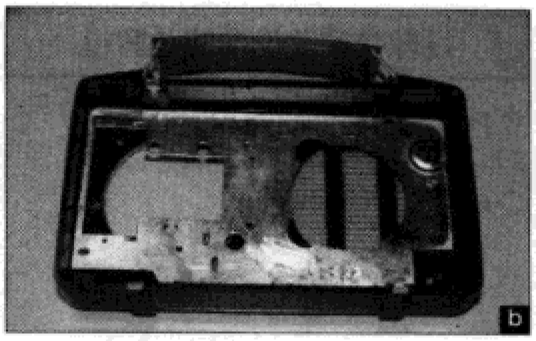


图9 对机壳进行清理

元件的清理在前几期的文章里已经做过介绍，在此不再叙述。

机芯的组装及维修

1. 磁棒天线线圈的绕制

淘来的时候发现磁棒天线线圈已经全部损坏，要重新进行绕制，参考图2所示的电路图，绕制方法如图10所示。

线圈：1-5端用21×0.07mm（用21股，直径0.07mm）纱包线分两组，各绕33圈，共66圈，在起始端8圈处抽头作为2端，6-7端用同型号的纱包线绕8圈。

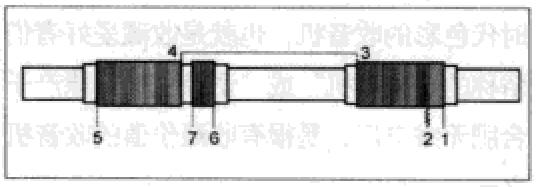


图10 磁棒天线线圈的绕制方法

2. 元件的回装

要把清洗后的原件，按照原始的位置装回原处，参照电路图2所示将清洗时折断的连接线重新连接焊好，确保正确无误，最后焊好新绕制的磁棒线圈，装好后的机芯如图11所示。

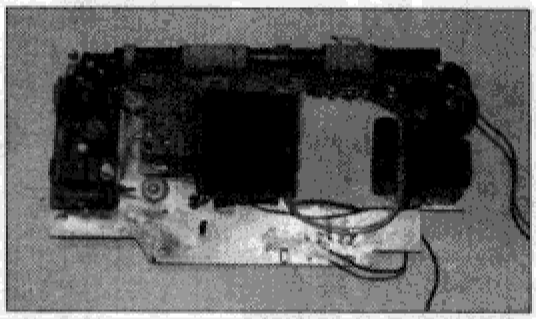


图11 装好后的机芯

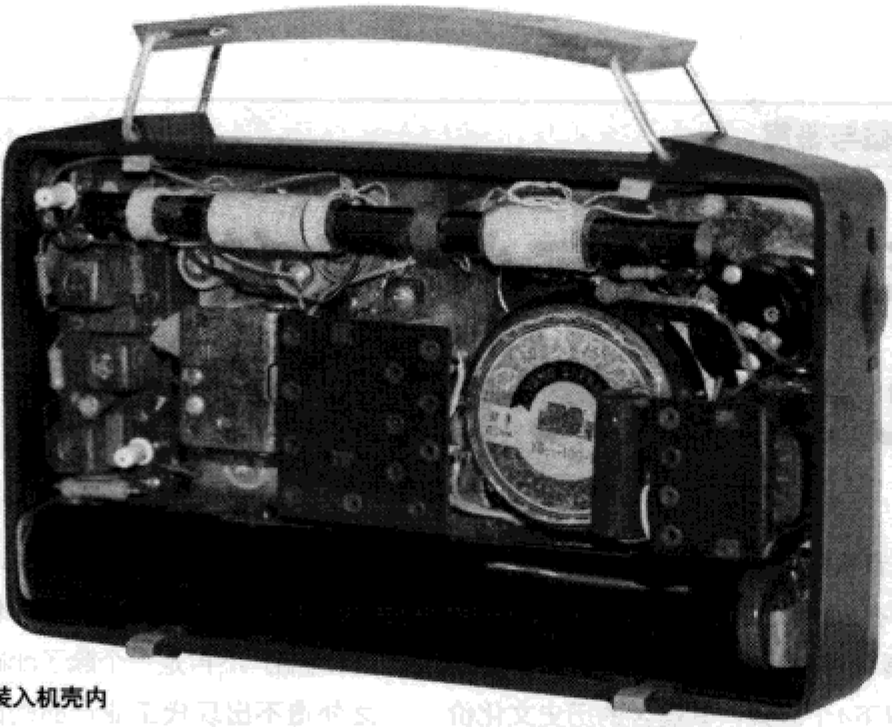


图12 将机芯装入机壳内

3. 机芯的维修

每个收音机的电路都有它的特点和共性，通过对数台黄山牌65-5-A型晶体管收音机的维修列举出以下故障实例。

实例1：中波800kHz至1600kHz可以收到电台信号，800kHz以下收不到信号。

故障排除：重点检查变频电路中的C7电容器，C7的作用是振荡耦合电容，它将本机振荡器产生的振荡信号耦合到BG1（变频管）的发射极上，同时C7还起到隔直流作用，不让发射极直接接地，当C7（0.01μF）电容器漏电或失效后就会出现上述故障，更换新的电容后故障排除。

实例2：只能收到强电台信号，声音小，灵敏度低。

故障排除：重点检查变频电路的C6（0.01μF）电容器，C6的作用是高频旁路电容，当C6漏电时就会出现上述故障，更换新的电容后故障排除。

实例3：收不到电台信号，扬声器里有强烈的“沙沙”声。

故障排除：一般是变频电路的C6（0.01μF）电容器失效造成的上述故障，更换新的电容后故障排除。

实例4：在度盘1200kHz以上的频率的高端收听电台信号时，灵敏度低。

故障排除：重点检查调谐回路中的C3（4.5/20pF）半可变电容器，C3的作用是调谐回路补偿电容，当高端电台信号灵敏度低时，可以调节C3半可变电容器，来改善高端灵敏度，当C3失效后就会出现上述故障，更换新的半可变电容后故障排除。

实例5：接收电台信号时灵敏度低。

故障排除：检查变频电路阻容件均未发现故障所在，一般为变频管（BG1）衰老性能变差所致，更换新的变频管并重新调整工作点后，上述故障即可排除。

实例6：调节电台信号时伴随着啸叫声。

故障排除：重点检查中频放大电路的C12（10μF）电解电容器，C12与R6都是自动增益控制元件，它的作用是利用检波后输出的直流成分通过R6加到BG2（中放管）的基极，用来控制强弱信号的增益，当C12失效时就会出现上述故障，更换新的电容后故障排除。

实例7：声音小，灵敏度低。

故障排除：检查低频放大电路工作正常，给中频放大电路BG2的基极注入信号时声音很小，进一步检查发现中放管BG2发射极C13旁路电容失效所致，换上一只新的同型号电容后试机，声音和灵敏度都恢复正常。（注：BG2中放管衰老性能降低、与此故障相同）

实例8：收听电台信号正常，声音小。

故障排除：重点检查低频放大电路，在低频放大电路中逐级注入音频信号，音频信号注入到BG3的基极时声音正常，当音频信号注入到C16（10μF）电解电容器的正极时声音很小，说明C16电解电容失效或容量减小，又或者C16处有虚焊，更换一只新的10μF电解电容后故障排除。

实例9：扬声器发出的声音失真。

故障排除：重点检查低频推挽放大电路，结果发现BG5三极管基极引脚由于锈蚀造成引脚断开，只有BG4三极管进行单臂工作，所以出现上述故障，换上一只同型号的3AX31B三极管后，故障被排除。

实例10：扬声器发出的声音，低音成分少。

常见故障：扬声器发出的声音，低音成分少，一般是C17（0.1μF）纸介电容器失效后容量减小所致，更换一只好的同型号电容器后故障即可排除。

4. 调试

故障排除后的收音机都要进行一次调试工作，只有这样才能使修复后的收音机达到正常技术指标的要求。调试方法：调节可变电容器在度盘的640kHz左右的频率上寻找到一个电台的信号，音量关得小一些，用无感改锥左右移动天线线圈在磁棒上的位置，直至扬声器发出的声音最大为止，低端调整完毕。接下来在1380kHz左右的频率上寻找到一个电台信号，音量关得小一些，用改锥调节C3半可变电容器的位置，直至扬声器发出的声音最大为止，高端调整完毕，最后将机芯装入机壳内，如图12所示。

一台修复后并且有着时代风采的“黄山牌65-5-A型晶体管收音机”就展现在眼前了，如题图所示。

收藏与鉴赏

◇田浩

三款具有收藏价值的电子管收音机评析

收音机的发展史是由文化史和技术史在20世纪交织而成。从收藏的角度来看，评价一台收音机的价值，需要考虑以下4个因素：其蕴含的历史文化价值，其造型设计的独创性，其电气及机械技术设计的独创性，最后，则是其品相的优劣。

自20世纪50年代到70年代，中国数次以收音机为国礼赠送外宾，典型的例子如牡丹1201。牡丹1201的外观具有较浓郁的民族风格，而其电气设计也具备了较高的技术水平，体现出中国（China）不再是一个除了china（瓷器）之外造不出现代工业产品的国家，以其作为赠送外宾的国礼，在一定程度上表达了新中国成立后人民奋发图强，科技不断进步的自豪感。

斗转星移，收音机已经不再是民用电子工业的排头兵，但收音机始终是那个时代民族文化和工业发展水平的历史见证。收音机的外观造型体现了设计者对民族风格特色和工业产品时尚元素这两者的理解和把握。而收音机的机械和电气设计则会通过诸多细节表现出民族文化的性格特点和设计者的设计理念，虽然一些个别的细节与生产厂家的设计方案、生产工艺有关，但细节的综合则是文化个性的形象化表露。为了阐明这一点，笔者对3款收音机——卫星81Y、牡丹752-AGP和Telefunken Opus 6进行一次比较。

卫星81Y

卫星81Y，如图1所示，是汉口无线电厂在20世纪50年代后期生产的一款产品。在国产电子管收音机中，卫星81Y扮演的角色耐人寻味：它在诸多方面取得了第一，但是这些第一又或多或少有着一丝苦涩的差强人意。

一般来说，卫星81Y被认为是一款出口机型，图2所示是一张由“中国仪器进口公司”（公司名下方的英文注释显示此公司包揽进口及出口业务)印制的“卫星牌收音机”说明书封面，恰好可以佐证

图1 卫星81Y

这一点。此机型在国内销售时的品牌是东方红81Y，两者具有几乎完全相同的机芯(东方红81Y具有略大一些的输出变压器)。“Sputnik”一词是苏联第一颗人造卫星“Спутник”的英文译音，用“Sputnik”而不用英文单词“Satellite”（卫星的直译）做此机的英文品牌名，在一定程度上体现出当时苏联对中国的影响。

东方红81Y的机壳有多种不同风格和涂色，不过卫星81Y只有一种如图1中所示的深褐色机壳。从整体来看，卫星81Y的机壳轮廓属于20世纪50年代初期流行的风格，具有厚重沉稳的特征。而局部又具有50年代后期的外观元素，如棱角分明的方形琴键按钮。表1展示的是卫星81Y机壳的尺寸等主要参数，左右两侧板大弧度的曲面（半径3000mm）尤其体现出这种样式机壳的主要特征：具有厚重的观感，同后期的流行款式相比略显沉闷。

图2 “卫星牌收音机”说明书封面

卫星81Y的机壳主要由7mm厚的木材胶合板制成，前面板的厚度约11mm。机壳的整体结构具有令人满意的牢固感，如人工凿成的前下方琴键凹槽和音调旋钮凹槽一类细节，则体现出此机壳在生产过程中较多地采用手工对整块木材加工成型，与后文将会提到的德产机型偏重于机械标

准化制造形成对比。

不过，在机壳的一些细节上，也许因为设计者考虑不周，也许因为受到生产成本的制约，略显差强人意：由图3可见，机壳前部下方的“中华人民共和国制”一行字采用黄色漆涂写。处于此位置的漆层很容易在搬运或日常使用时因碰撞而刮损，在前部面板上有3根金色装饰条，全系铝制薄板折成V字型截面后染色而成。可能设计者加装这3根铝条的初衷是为了美观并保护面板布及扬声器纸盆，但是这些铝条自身就很容易因碰撞而凹陷或出现伤痕。

卫星81Y 刻度盘的风格非常简约，全刻度盘上只有34个汉字，没有任何英文标识。与刻度盘的语言标识特征恰好相反，在卫星81Y的后盖板上全部标识均为英文，唯一可见的汉字“卫星”仅出现在后盖板一侧的商标里。标识的内容也很简单，每一插接口旁边仅有英文缩写和相应的符号标注，如图4所示。

卫星81Y的设计者对出口机型后盖板

图3 机壳的一些细节缺陷

表1 卫星81Y机壳的尺寸主要参数

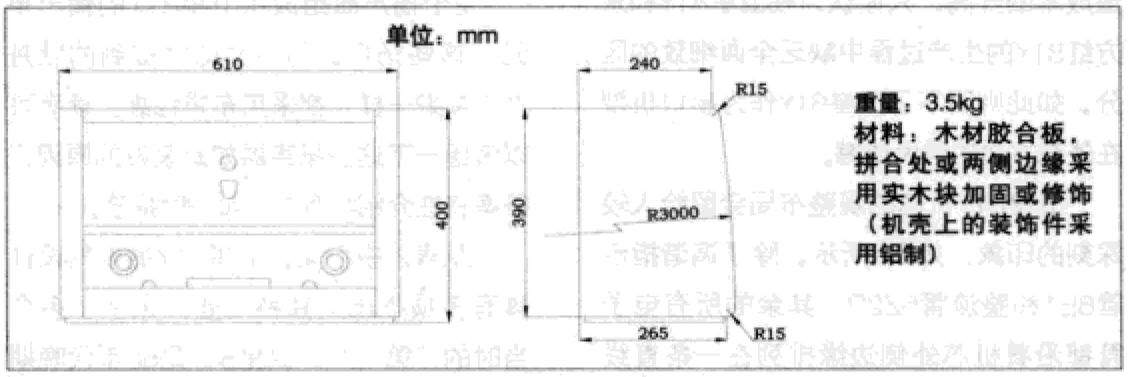
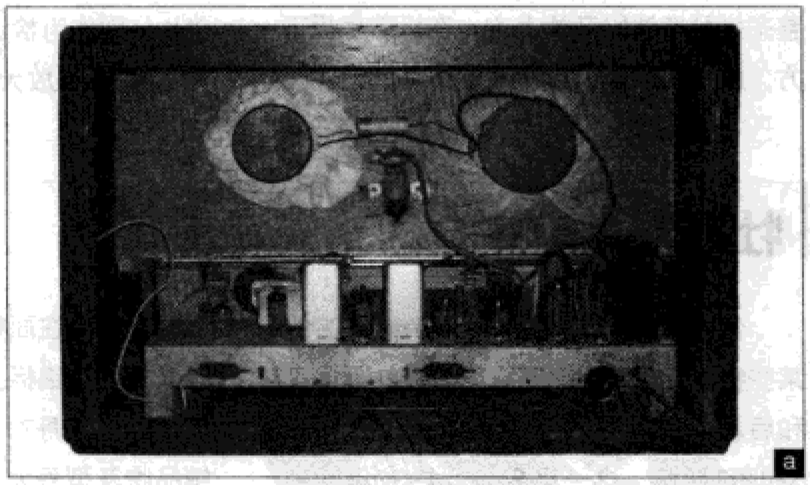
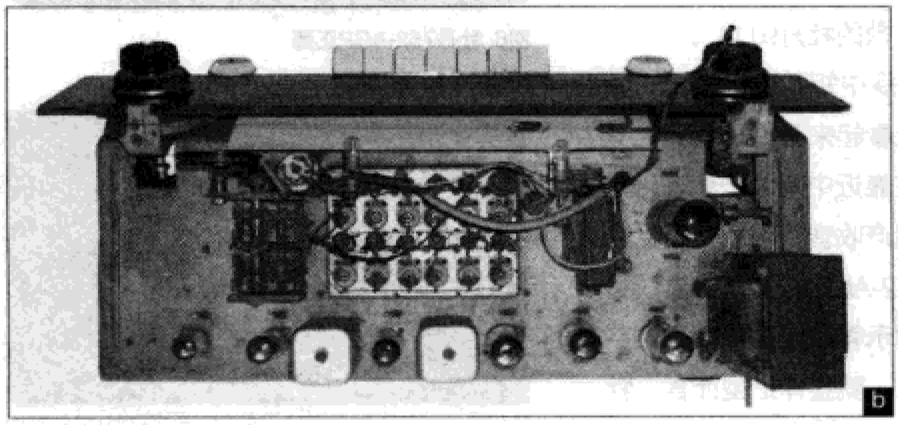


图4 卫星81Y的后盖





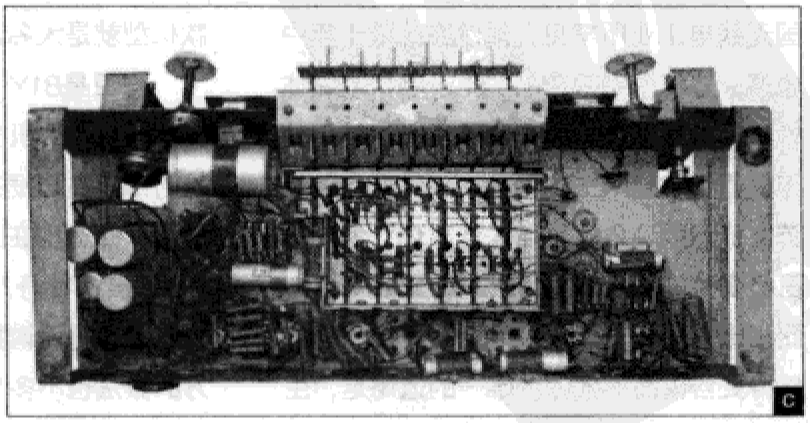


图5 卫星81Y机芯的规整布局

表2　卫星81Y机芯的器件参数

项目	参数	项目	参数
总功率	≤80W	扬声器	低音1只　口径200mm 高音1只　口径127mm
输入电压	110V、220V		
输出功率	≥2W		
波段	中波　520～1600 kHz 短波1　3.9～7.6 MHz 短波2　9.5～10.5 MHz 短波3　11.5～12 MHz 短波4　14.9～15.5 MHz 短波5　17.5～18 MHz	电子管	6J1　高频放大 6A2　变频 6K4　中频放大 6N1　检波、第一音频放大 6N1　第二音频放大 6P1　功率放大 5Z2P　整流 6E1　调谐指示

的英文标识加以留意，却忽略了其刻度盘的英文标识。对于批量生产的机型而言，刻度盘的重新制版和印刷并不会带来制造成本的升高，只能认为在卫星81Y和东方红81Y的生产过程中缺乏全面细致的区分。如此则留下了卫星81Y作为出口机型在外观方面的最大遗憾。

卫星81Y机芯的规整布局会留给人较深刻的印象，如图5所示。除了调谐指示管6E1和整流管5Z2P，其余的所有电子管都沿着机芯外侧边缘排列在一条直线上，并在每一管座的旁边标注了型号。全部调谐回路线圈、本振线圈和可调电容也整齐排列在波段开关上方。在机芯底板下方，所有体积较大且有一定重量的元件，如电解电容、铝壳纸介电容都用螺栓和压片加以固定，一般的电阻、电容也多以平行于机芯边缘的方式整齐焊装。有个细节值得一提：除了整流管的管座采用酚醛塑料制作之外，全部的电子管管座均采用陶瓷制成，具有良好的耐热和防潮抗污性能。与同期的绝大多数其他国产机型相比，卫星81Y的设计者在机芯的布局方面考虑得更加周到。

2个扬声器组成了卫星81Y的输出单元。这些扬声器与下文即将提到的牡丹752-AGP一样，都采用布袋包裹。读者可以考虑一下这些扬声器如此装设的原因，答案将在介绍牡丹752-AGP时揭晓。

从表2 中可见，卫星81Y的电气设计具有多项杰出的独特之处，创下了多个当时的“第一”。卫星81Y是50年代晚期的大型台式机中唯一具有6J1高频放大的8灯机，也没有如其他的收音机采用2个6N1分别作为检波和第一级音频放大管、第二级音频放大管。最突出的特点也许是：作为一款民用机型，卫星81Y具有多达5个短波波段，这在同期的中国和欧美机型中都是罕见的。我国在从20世纪50年代到70年代生产的民用电子管机型中普遍都只有一两个短波波段，只有少数等级较高的机型具备3到4个短波波段。

卫星81Y所具备这些“第一”的美中不足之处在于，其灵敏度并没有因为采用高频放大级而比同期国内生产的类似机型显著提高，其5个短波波段的频率也并不连续。设计者如此划分短波频率覆盖范围的初衷是为了让使用者在调谐时更便于区分相邻电台，符合“以人为本”的设计理念，值得肯定。但是，对于这样一台大型台式机而言，将3.9～18MHz的频率范围连续划分为5段，也不会在使用者调谐时带来多少困难。此外，卫星81Y还有一些缺憾，例如缺少磁性天线、没有外接扬声器插口。特别是和国外同期机型相比，缺乏调频波段是那时绝大多数国产机的普遍遗憾。

不过，考虑到当时国内广播事业发展的情况，我们可以欣慰地说，卫星81Y以及下文即将提到的牡丹752-AGP的设计者们已经尽力取得了优秀的成果，他们的作品经受得住历史的考验。

牡丹752-AGP

作为一款出口机型，牡丹752-AGP的某些特征比卫星81Y更明显。在其刻度盘和后盖板上，所有的标识均为英文，如图6和图7所示。这一现象为此后30年间中国无线电工业所罕见，虽然在此数十年中也有一些作为出口产品的电子管机或晶体管机，但通常都是中文和英文标识并列使用，直到20世纪80年代，国产机型上全英文标识的现象才重新广泛出现，但动机已经变为“显示此机为进口时髦品”。与此相比，牡丹752-AGP的全英文标识现象显得更自信而不做作。唯一的遗憾是，生产国与具体型号都没有在外部任何地方加以标识，仅在面板的左侧上方有英文“牡丹”的金色铝标。这是此机在藏界中常被随口称作牡丹711的原因之一（此机的内销品牌及型号为北京711，后续推出的一款机型就是大名鼎鼎的牡丹911）。

与卫星81Y中规中矩的机壳相比，牡丹752-AGP的机壳看起来更富趣味，尤其是前部左右边框在靠近中间的一侧采用了曲面，此造型在国产收音机中相当罕见，表3给出了牡丹752-AGP的机壳参数。另一方面，将调谐指示管设置在面板左侧下方的做法也不多见。就整体造型而言，牡丹752-AGP的机壳与后文提到的Telefunken

图6 牡丹752-AGP正面

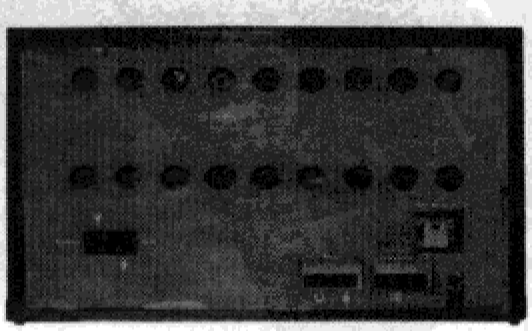
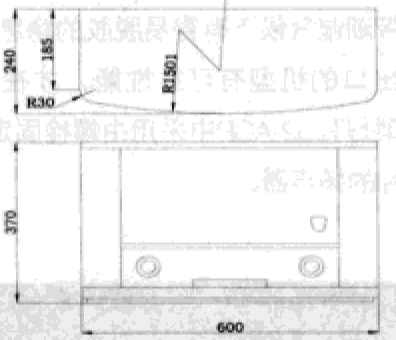


图7 牡丹752-AGP背面

表3 牡丹752-AGP机壳尺寸主要参数



单位：mm

重量：2.8kg
材料：木胶合板，边缘部分采用实木块加固或修饰（机壳上的装饰件采用铝制）

表4 牡丹752-AGP机芯的器件参数

项目	参数	项目	参数
总功率	55W	扬声器	低音1只 口径200mm 高音1只 口径 130mm
输入电压	100V、110V、125V、150V、180V、200V、220V		
输出功率	2W		
波段	中波 520～1600 kHz 短波1 11.5～23 MHz 短波2 5.7～11.7 MHz	电子管	6A2 变频 6K4 中频放大 6H2 检波 6N2 音频放大 6P1 功率放大 6Z4 整流 6E1 调谐指示

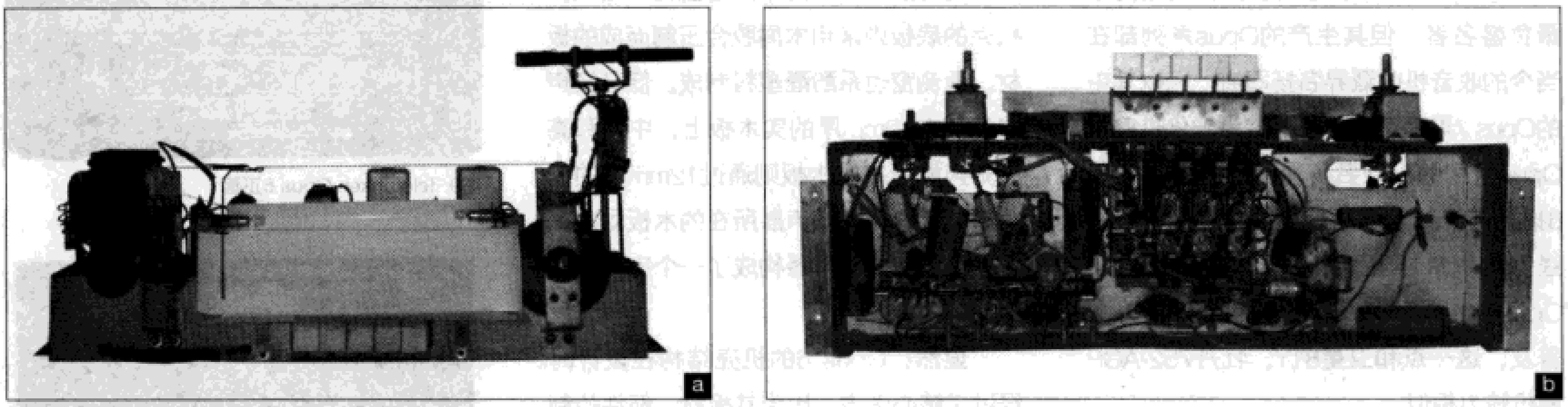


图8 牡丹752-AGP机芯

Opus 6更相似。

需要指出的是，牡丹752-AGP机壳的用料在本文所提及的3者之中最差，多处夹板出现脱胶开裂的现象，这可能与此机曾经所处的储存环境有关，但固定扬声器的面板厚度之薄（约7mm）确实令人惊讶。采用厚度不足7mm的夹层板固定最大口径200mm的扬声器，其低频响应效果存在明显不足。并且，当木材和胶合物因日久而发脆时，整块板材的强度将明显降低，作为固定着扬声器的承重面板，其可靠性堪忧。

牡丹752-AGP机芯虽然在整体布局方面难以给人留下深刻印象（见图8），但就具体细节而言，此机芯有若干突出的特点，使我们可以得知当时的设计人员确实颇下功夫。例如，全部调谐拉线及旋转磁性天线的滑轮均以黄铜制成，这样的用料即使在同期的德机中也不多见，表4给出了牡丹752-AGP机芯的器件参数。此外，四周边缘向前弯折的刻度盘背光板是牡丹752-AGP机芯的特色，如图8（a）所示。采用了这样的设计后，使用者无论以何角度从刻度盘前向机内看去，都不会看到内部的零部件，使得此机具有整洁的观感。另一方面，弯折的边缘也起到一定的聚光效果，使刻度盘的背景更明亮。

机芯的另一特点为可旋转的高架磁性天线（此天线距离机芯的高度为16.5cm）。采用高架磁性天线的原因之一是为了不与前面板左下方的6E1调谐指示管发生干涉，原因之二是为了尽量避免让磁性天线受到机芯上元件的谐波影响。此设计在后来的牡丹911上得以延续。

在旋转磁性天线的设计中存在一个虽然细微却值得深思的细节，即天线支架下方的切换开关。当天线旋转到零位时，一个同轴凸轮将顶起此开关的弹片，使外接天线与磁性天线线圈串联后接入调谐电路。类似的切换开关虽然在德产机型中常见，但在国产机中却是少有的。然而牡丹752-AGP的此设计中却有一瑕疵：磁性天线的特点之一即在于其方向选择性，假设当该天线旋转到零位时，天线最大增益的方向恰有一干扰源，原本使用者接入无方向选择性的外接天线即是希望尽可能避免此干扰源的影响，但现在却因为外接天线与磁性天线线圈串联的原因，不得不将此干扰源的信号随同广播信号一起放大——这就是此设计方案存在的瑕疵。在德产机型中，机内天线与机外天线的切换通常是二选一的完全切换，也就避免了牡丹752-AGP设计中可能遇到的这种尴尬。对于牡丹752-AGP的切换开关来说，只需要再增加一块弹片，在接线方式上稍加改动，就能解决此问题。在这一点上，曾经出现在卫星81Y上的现象再次显现——往往只差最后两三步甚至一步，就与完美的结局失之交臂。

牡丹752-AGP的电路设计十分平凡。没有高低音独立调节，仅有的音调调节阻容网络效果不佳，输出变压器初级未设减弱交流声的抽头，连一般机型中6P1功放

管常用的屏极旁路电容也没有。此机电路的主要性能参数也没有特别优异之处。短波的频率覆盖范围高端达到23MHz是一项值得称赞的优点，但仅设置2个短波波段又没有频率展宽微调，就将这一优点至少是部分地抵消了。

在图5（a）中，我们再次注意到被布袋包裹的扬声器。之所以采用布袋包裹，是因为这些扬声器中均采用两个Y字型的弹片支撑音圈和纸盆，而不是采用通常的音圈支架，如果不用布袋包裹，则灰尘很容易进入音圈和磁隙间，影响放音质量。如果要进一步深究采用弹片的缘故，则主要在于：当时用来胶合音圈支架的胶在热带潮湿气候下有容易脱胶的隐患，为确保出口的机型有可靠性能，才在卫星81Y和牡丹752-AGP中采用由螺栓固定Y字型弹片的扬声器。

Telefunken Opus 6

Telefunken并非德国收音机制造商中最负盛名者，但其生产的Opus系列却在当今的收音机收藏界名扬四海，尤以其中的Opus 7最富盛名，被尊称为一代机皇。Opus系列的出众名声得益于此系列机型6扬声器配置的卓越声场效果和具备流畅线型的华贵外观。不过，本文中仅选取Opus 6做介绍和比较，因为Opus 6更加普及，这一点和卫星81Y、牡丹752-AGP两机较为相似。

仔细观察Opus 6的机壳，可见其制作与组装过程具有更高的机械标准化制造比例，图9与图10分别展示了此款机型的正、背面。表5是Telefunken Opus 6的机壳参数。前下方的边框采用酚醛塑料模压成型，然后用螺钉固定在机壳底部前端的实木边沿上。左右两侧的弧面边缘系开槽的薄木贴板弯成弧面后填入腻子，再从机壳内部向弯折处贴上薄木片遮盖住开槽处。机壳的底板则采用木屑胶合压制而成的板材。两侧窗也系酚醛塑料制成。低音扬声器安装在10mm厚的实木板上，中音和高音扬声器所在的木板则通过12mm厚的三角形肋板与低音扬声器所在的木板固定在一起，所有的扬声器构成了一个完整而方便装卸的单元。

显然，Opus 6的机壳结构在设计时经过了精心考虑，因为其板材、部件的制造和拼装能够以更高的效率完成，音响效果也没有因为机壳的制作工艺而打折扣。至此，一种显著的对比已经可以通过机壳体现出来：卫星81Y的实木机壳包含了更多工匠手工劳作的心血，而Opus 6的机壳则凝聚了更多设计者为标准化高精度生产而费心思考的结晶。

欧洲版Opus 6的刻度盘蕴含着很丰富的内容。在这块面积约5dm²的玻璃板上，除了装饰花纹和图案外，还有旋钮及按键用途、频率刻度和93个欧洲不同

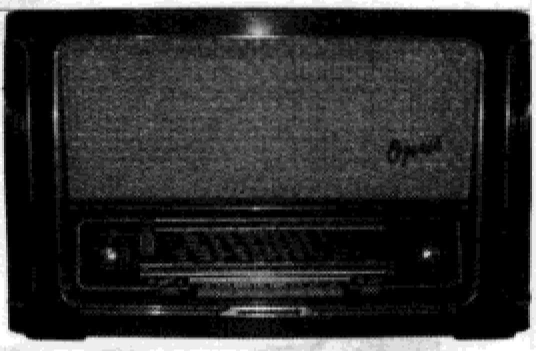
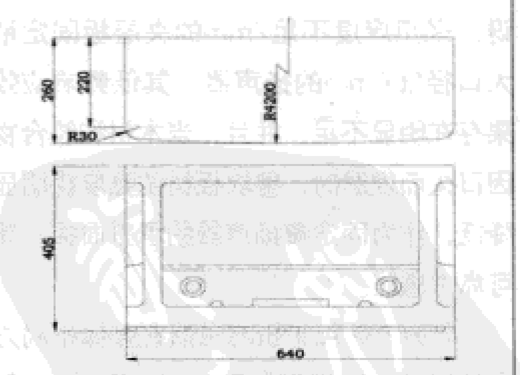


图9 Telefunken Opus 6正面

图10 Telefunken Opus 6背面

表5 Telefunken Opus 6机壳参数

单位：mm



重量：4.2kg
材料：木胶合板，边缘部分采用木片弯折或酚醛塑料部件修饰（机壳上的装饰件采用铜制）

表6 Telefunken Opus 6机芯参数

项目	参数	项目	参数
总功率	75W	扬声器	低音2只 口径 210mm 中音2只 口径 82mm 高音2只 口径 70mm
输入电压	110V、125V、220V、240V（欧洲版）或110V（美洲版）		
输出功率	5W		
波段	长波 145~320kHz 中波 515~1620 kHz 短波 5.9~18.5 MHz 调频 87.5~100 MHz（欧洲版）或88-108 MHz（美洲版）	电子管	ECC85 调频振荡与混频 ECH81 调频第一中放；调幅振荡与混频 EF89 调频第二中放；调幅第一中放 EF89 调频第三中放；调幅第二中放 EABC80 调频调幅检波；第一音频放大 EC92 第二音频放大；倒相 EL84 功率放大 EL84 功率放大 EM80 调谐指示

的地名（中波段83个，长波段10个）。假如将其中的城市在欧洲地图上逐一标注，再结合当时欧洲的地缘文化环境进行分析，能得出一些有意思的结论，感兴趣的读者可以自行分析。在这里可以顺带提及一下出口美洲的Opus 6刻度盘（图11）。美洲版Opus 6 刻度盘强调了品牌，在刻度盘正中是一个显著的Telefunken标记。美洲版刻度盘上并没有很多的地名，只标注了欧洲和美洲若干个主要发达国家的国名或台名，因此美洲版Opus 6也可说是一款放眼全球的“世界版”。

图12展示了Telefunken Opus 6内部构造，欧洲版和美洲版Opus 6的刻度盘有一个重要的区别，与下文即将介绍的机芯直接相关——调频的覆盖频率。Opus出产时，欧洲的调频广播频率覆盖范围从88～100MHz，而美国则是88～108MHz。为什么不统一生产频率覆盖范围88～108MHz的机型在欧洲和美国通用呢？答案是“一切从用户角度考虑”的设计理念。如果以频率覆盖88～108MHz的机型在欧洲使用，则从100～108MHz的范围内都不会收到任何电台广播，而且88～100MHz的频率范围在刻度盘上只占有约一半的比例，在欧洲调谐选台时不十分方便。因此，欧洲版的Opus 6和那时在欧洲使用的其他德产机型一样，只有87.5～100MHz的调频频率覆盖范围。

Opus 6的调谐系统具有一箭双雕的特点。同时期的欧美机型，对于分立的调幅调谐系统和调频调谐系统大多采用了单旋钮配合离合器工作的方式，按下调频波段的按钮时，一根拨杆会将离合器拨动到与调频的轴相接，调节调谐旋钮就只会带动调频系统，反之亦然。但Opus 6的调谐系统则采用套轴，内轴控制调幅系统的调谐，外轴控制调频系统的调谐，其巧妙之处在于：调频波段的可调线圈也兼做调幅系统短波频率展宽之用。这样一来，虽然Opus 6的短波只有一个波段，但其短波的调谐却在频率展宽的帮助下比其他同样只有1个短波波段的机型要容易许多。从图12（b）和图12（c）中可以见到调频系统黑色的扁圆柱形飞轮和调幅系统的银灰色碗形飞轮——这种特殊的形状是为了在机芯下方有限的空间内尽可能增加飞轮的转动惯量，以求取得良好的调谐手感。

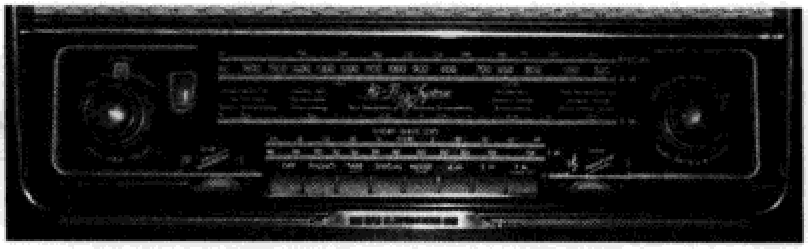


图11 出口美洲的Opus 6刻度盘

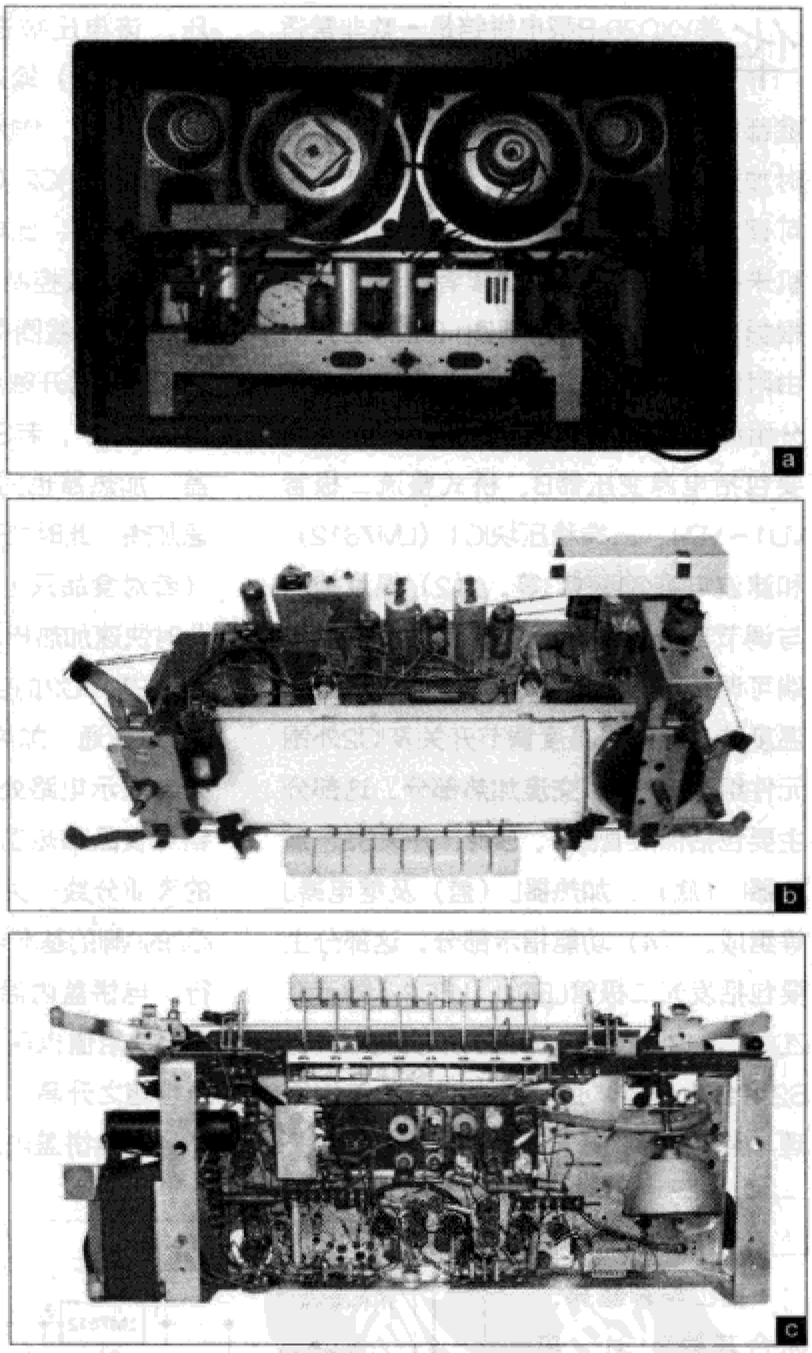


图12 Telefunken Opus 6的内部构造

Opus 6的最末一级中频变压器和检波管的管座是一体化的，中频变压器的铝壳也兼为检波管的屏蔽层。这样就避免了包住检波管的金属屏蔽壳可能带来的管壳划伤和散热不畅问题。

如果和同期的其他德产机型比较，除了上述各项之外，Opus 6的电气设计并没有十分突出的独创性。虽然Opus 6的9电子管配置(如果将半导体整流桥换成整流管，将变成10电子管)与本文中提到的前两者相比显得豪华，不过在当时的德产机型中，Opus 6的电路设计也算是标配，其采用的所有电子管都是欧美常见的收音机用管，并不存在特别突出的独创之处。不过，此机6个扬声器的输出单元，在当时的欧美产台式机中名列前茅。一般来说，在同期的欧美台式机中通常会配备4个扬声器。Opus 6中扬声器的高、中、低音成对配置，一方面是为了产生一定的环绕声场效果(其时立体声调频广播尚未在欧美推广)，另一方面也是为了确保高中低音所有频域都有充足的功率余量，在EL84推挽功放达到最大输出功率时也能有良好的输出音效。Ⓦ

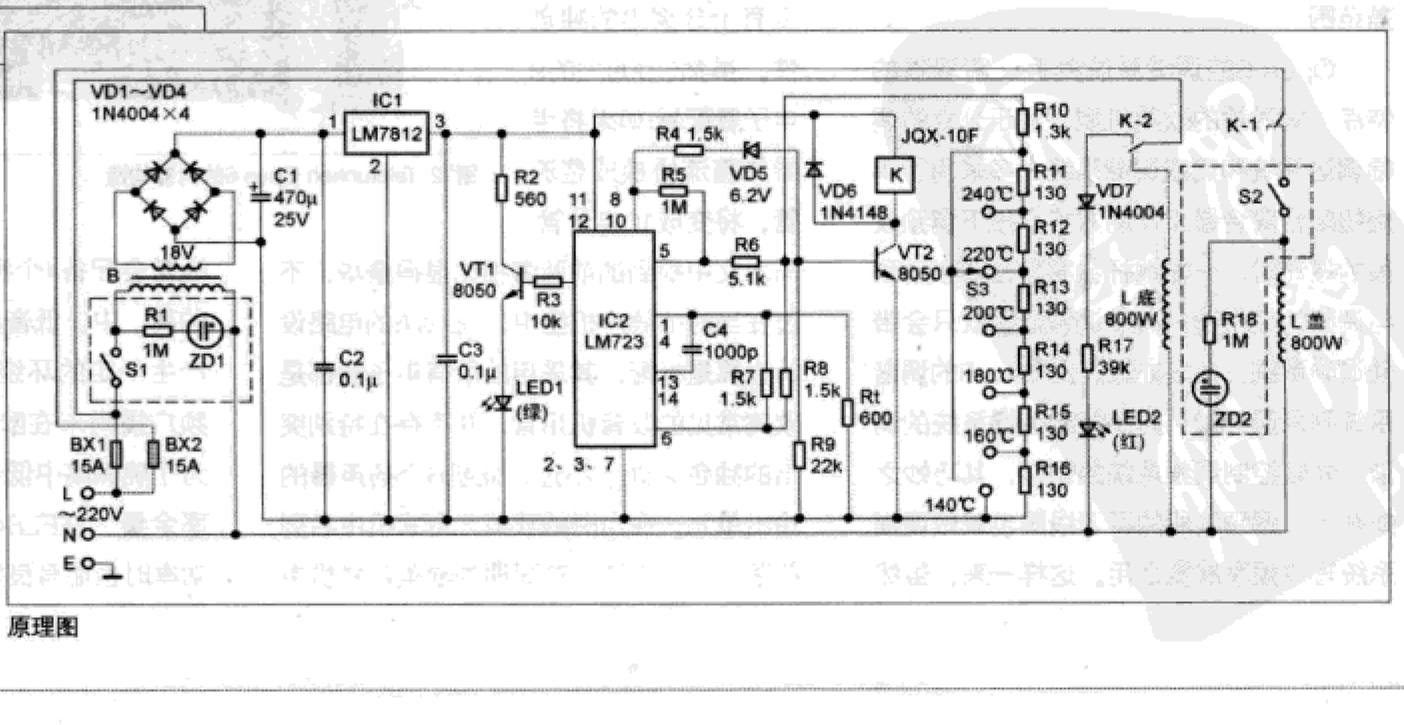
◇王绍华

电饼铛的原理与维修

华美YXD20-B型电饼铛是一款非常适用的炊事用具，在许多小吃店和家庭都能见到它。该型电饼铛可以上下同时加热、温度可在140℃至240℃范围内可调、并能自动恒温。由于该型产品随机未附电路图，为帮助读者维修，笔者根据实物绘出了电原理图（见附图）。由附图可看出，该产品主要由下列几部分组成：（1）直流供电部分。这部分主要包括电源变压器B、桥式整流二极管VD1～VD4、三端稳压块IC1（LM7812）和滤波电容C1～C3等。（2）温度控制与调节部分。这部分主要包括多功能多端可调正稳压集成电路IC2（LM723）、温度传感器Rt、温度调节开关及IC2外围元件组成。（3）交流加热部分。这部分主要包括保险管BX1、BX2、开关S2、加热器L（底）、加热器L（盖）及继电器J等组成。（4）功能指示部分。这部分主要包括发光二极管LED1、LED2及指示灯ZD1、ZD2（ZD1、ZD2分别与开关S1、S2组合为一体）。下面介绍它的工作原理与常见故障检修方法。

工作原理

插上电源插头、闭合开关S1时，电源指示灯ZD1点亮、220V市电加至电源变压器B的初级绕组、次级输出18V左右交流电压，经VD1～VD4组成的桥式整流电路整流、C1、C2滤波后获得18V左右直流电压。该电压被送入三端12V稳压器IC1（LM7812）输入端，稳压后的12V电压经3脚输出，作为控制电路工作电源。通电开始时，IC2（LM723）的8、10脚输出约10V电压，此电压使稳压管VD5齐纳击穿，并导致控制管VT2饱和导通。于是继电器K工作线圈得电动作，它的两个开关K-1、K-2常开触点闭合，使市电加至加热器“L底”，若S2处于闭合状态，则“L盖”加热器也同时工作，对食品进行快速加热，此时快速加热指示灯ZD2点亮。（若对食品只进行烘焙，则可关断S2，此时快速加热指示灯ZD2熄灭。）在加热过程中，IC2的9脚输出高电平，使控制管VT1导通，加热指示灯LED1（绿）被点亮，表示电路处于加热状态。该型电饼铛对食品加热温度的设定是由一只1×6的瓷质分线开关S3控制（实质上是改变IC2的6脚的基准电压），随加热过程的进行，电饼盖内温度会不断升高，温度传感器Rt阻值也逐渐增大，IC2的1、4脚电压也随之升高，而8、10脚电压却随之下降。当电饼盖内温度达到设定值时，IC2的8、10脚电压会下降到6V以下。于是，稳压管VD5截止→VT2截止→继电器K常开触点断开→加热器停止加热→电路处于短时恒温状态。此时，由于继电器K-2常闭触点的闭合，市电经VD7整流、R17降压后使保温指示灯LED2(红)被点亮，显示电路处于保温状态。随温度下降，温度传感器Rt的阻值也会逐渐下降，IC2的1、4脚电压也不断下降。当温度降至设定值下（约5℃）时，IC2的8、10脚电压会重返约10V，于是电路再次处于加热状态……如此不断循环。因此，电饼铛会自动在设定温度下工作。



原理图

常见故障

1. 插上电源插头后，指示灯LED1不亮，也不能加热。

该故障可能由两个原因造成，一是电源电路存在故障，可先查C1两端是否有约18V直流电压，若没有，说明市电输入、降压、整流滤波电路存在问题，可检查排除。若18V电压基本正常，再测稳压

附表　LM723引脚功能与在路电压实测数据

引脚	1	2、3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
升温	0V	0V	0V	4.05V	7.01V	0V	10.44V	4.35V	10.44V	12.04V	12.04V	11.73V	11.73V
保温	5.95V	0V	5.95V	4.07V	7.07V	0V	4.73V	0.27V	4.73V	12.04V	12.04V	5.25V	5.25V

块IC1的3脚是否有12V电压输出，如果没有，说明IC1或C3损坏，可检查确认后予以更换。二是控制电路存在故障。比如：多端可调稳压块IC2损坏，致使8、9、10脚不能输出高电平，从而使LED1不能点亮，继电器K不能得电吸合，当然加热器也不会加热。为帮助大家检修，附表给出了IC2引脚功能和在路正常电压值，供参考。再比如：温度传感器Rt本身击穿，也会导致IC2的8、9、10脚不能输出高电平，从而形成本故障。

2. 插上电源插头后，指示灯LED1点亮，但不能加热。

这表明IC2基本正常，其故障点可能在：（1）R4、VD5、VT2、K（继电器K工作线圈直流电阻为80Ω）之中有开路故障，致使K不能得电吸合，可检查排除。（2）继电器J的常开触点因打火烧蚀氧化，导致即使常开触点闭合也不能导通。若确认，用0#砂纸仔细研磨触点，一般可修复。当然，最好还是换新。（3）加热器电源接头处或加热器本身开路，使加热器不能工作。可在加热器电源接头处测量上、下盖加热器直流电阻（正常均为45Ω左右），若异常，在排除接头处开路原因外，只能是加热器本身开路性损坏。更换后故障即可排除。

3. 能够加热，但升温时间变长。

产生该故障的可能原因有：（1）电源电压太低，可检查市电电压确认。（2）加热器线路接触电阻过大。一般为加热器附近电源接入的固定螺钉、螺母松动或接触处严重氧化，致使接触电阻过大。可将固定螺钉、螺母重新拧紧，并清除氧化层后再试。（3）电加热器本身老化。电加热器随使用年限增加，其发热丝会逐渐变细，因而电阻会不断增大，发热功率会逐渐减小，从而形成本故障。因此，若测得加热器电阻明显大于45Ω，则只能更换加热器。

4. 能加热，但温度失去控制。

形成该故障的可能原因有：（1）继电器常开触点发生粘连，致使只要通电加热器就一直加热。若确认，最好还是换新的。（2）控制管VT2 的c、e极击穿，使继电器一直通电吸合，可检查更换。（3）稳压管VD5击穿，导致VT2一直处于饱和导通状态。检查确认后，更换即可。（4）温度传感器Rt阻值损坏（Rt为正温度系数热敏电阻，正常情况下，将电烙铁靠近它时，其电阻值应明显增大，否则说明已损坏。）或调温开关S3触点氧化或连线开焊脱落，在确认后将故障件予以换新或将开焊连线重焊即可。（5）IC2损坏。若测得IC2各脚电压数值与附表数值有较大出入，则可认定IC2损坏，必须更换。

5. 能加热，但外壳漏电。

由于电饼铛工作在比较潮湿的厨房中，故油烟和灰尘容易污染市电引线的相关接头，导致绝缘电阻降低，从而形成该故障。因此，可用无水酒精对相关带电接头进行清洗，然后再用电吹风进行烘干再试。若仍有轻微漏电，可在铛体外壳加接一根接地线，以确保安全。

检修实例

例1 通电后电源指示灯ZD1点亮，但绿色加热指示灯LED1不亮，也不能加热。

经查，稳压块IC1的3脚有12V直流电压输出，再测多端可调稳压输出块IC2各脚电压，发现与附表所附正常值有较大出入，故怀疑IC2损坏。经更换IC2后试机，故障排除。

例2 通电后绿色加热指示灯LED1点亮，但不能加热。

经查，IC2的8、10脚已输出10.5V电压，据此表明IC2正常，问题应在后面的控制电路。再测控制管VT2的 c极为低电平，说明VT2已饱和导通，故障点应在后面的继电器或加热器连接电路或加热器本身开路。最后终于查出是加热器电源连接螺母因接触电阻发热，加之潮湿，时间久后严重氧化，导致加热电路不通。经对加热连接电路重新连接后开机，加热恢复正常。

例3 通电后一直处于加热状态，温度控制失效。

在设定温度超过后，测量IC2的8、10脚输出电压为4.3V左右，据此证明IC2正常。再查控制管VT2，发现c极为1.2V，显然，VT2已导通或击穿。接下来测VT2的b极电压为0V，这表明VT2的c、e极已基本击穿。经更换VT2后试机，温度控制恢复正常。

例4 烧饼烤好后不能保温。

该故障很可能与温度传感器损坏有关，拆下传感器Rt观察，发现它已被一层厚厚的油腻物所包裹。经用无水酒精清洗掉传感器上包裹物后试机，保温功能恢复正常。

◇梁仲华

电磁炉常见故障维修5例

由于电磁炉多在厨房使用，油污较多，所以故障率较高。同时电磁炉随机不附电路图，给自行维修带来不便。目前电磁炉品牌很多，具体电路虽有差异，但基本结构相近，故检修的思路大体相同。本文以皇冠牌CS-180型电磁炉为例，介绍几种颇有代表性故障的维修方法，文中的电路图是笔者根据实际电路绘制的，读者可以举一反三修好其他品牌电磁炉。

例1 按触电源开关，不开机，烹饪中炉内有时“呜呜”作响，有时显示故障代码，有时不加热，有时工作一段时间自动关机。

分析检修：此类故障称为“怪”现象，主要原因是由于平时缺乏清洁保养，致使电磁炉的面盖、底壳、插接件、风扇和电路板表面积聚大量油污，产生严重漏电引发的。遇到这种“怪”现象，主要的工作是清洗油污。首先将面盖、底壳、风扇的油污用毛刷清洁剂清除干净备用，而电路板则为重点清洁对象，焊接元器件一面的电路板，用油画笔清除油污，不好清除之处可加点无水酒精予以清除。对于有覆铜箔一面的电路板，用柔软毛刷稀释清洁剂顺铜箔走向擦拭，使污物脱离，然后用小流量自来水冲走污物（尽量使自来水不流入元器件一面），一次清洁不行可进行多次。电路板干净后，放在阳光下暴晒或用电吹风干燥后，“怪”现象会自然而然地消除。即使不能消除“怪”现象，也为下一步维修提供必要准备，会收到事半功倍的效果。

例2 工作中突然发出“啪”一声，随后全部指示灯熄灭，不加热。

分析检修：故障现象说明电磁炉出现严重的短路，多发生在高频电路主电路及驱动电路之中。相关电路如图1所示，220V交流电源经保险管F1、电流互感器T2后由整流桥BD1整流，经电感L1、电容C5组成的滤波电路，变为310V电压，加至由加热线盘L、谐振电容C11、门控管IGBT等组成的主电路。IGBT管在续后驱动电路三极管VT3、VT4作用下，交替工作于饱和、截止状态，使谐振电路L、C11并联谐振，在加热线盘周围产生高频交流磁场，使铁质锅致热。

拆开面盖，目测F1已炸裂，在路检测出BD1、IGBT均击穿短路，其余元件完好。IGBT管的击穿通常有3个原因：一是IGBT管质量差，自行损坏，二是谐振电容C11容量变小，造成过压而击穿IGBT管，三是驱动电路相关元件受损，存在短路故障。经检查，发现驱动电路RJ及VT4的c、e极击穿短路，导致IGBT管G极处于高电压，因其导通时产生强大电流被击穿，进而烧毁整流桥BD1和保险管F1，而引起所述故障。更换F1（250V/10A）、BD1（D15SB80）、IGBT（FGA25N120NTD）和VT4（S8050）。更换元件后不要急于通电试机，为了安全起见，先断开保险管一端，串入一只100W/220V白炽灯泡，再通电，观察灯泡不亮，显示器显示闪亮“----”，蜂鸣器响4声“嘀”后，自动关机，说明短路故障已排除。最后拆下灯泡，焊好保险管引线，通电试机，电磁炉恢复加热，故障排除。

例3 按动“开/关”键，指示灯不亮，也听不到蜂鸣声，电磁炉不工作。

分析检修：该故障多是低压开关电源相关元件损坏所致。低压开关电源电路如

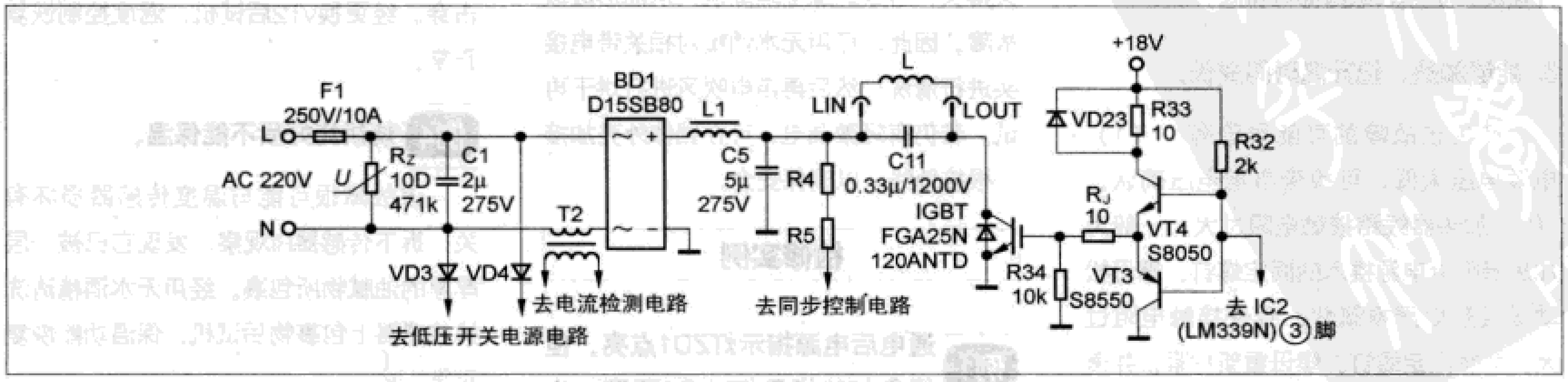


图1 高频主电路及驱动电路图

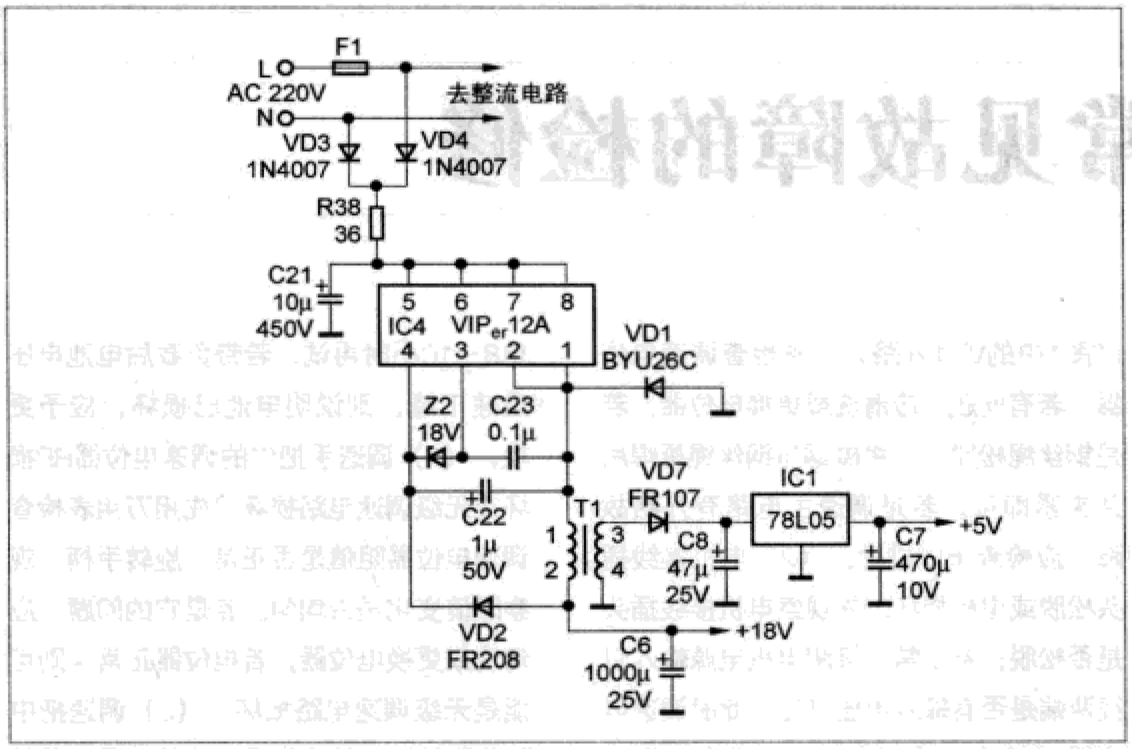


图2 低压开关电源电路图

附表 开关电源芯片IC4（VIPer12A）实测电压

引脚	直流电压（V）
1、2	19
3	21
4	39
5~8	310

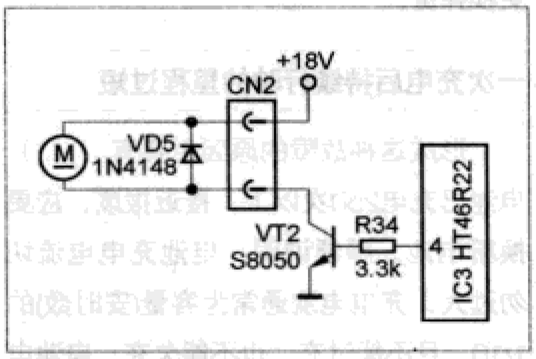


图3 电机驱动电路图

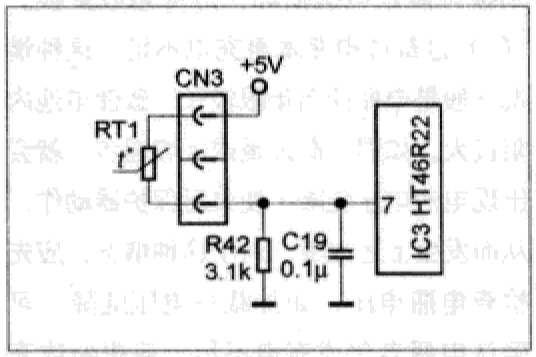


图4 炉面温度检测电路图

图2所示，220V交流电源经二极管VD3、VD4整流、限流电阻R38、电容C21滤波后，加至开关电源芯片IC4（VIPer12A）的5~8脚，1、2脚接到脉冲变压器T1初级的1脚，同时通过二极管VD1接地，IC4的3脚是电压采样端，4脚是电源端，通过高频二极管VD2（整流）接到T1初级2脚，IC4内部电路进入开关状态，产生高频脉冲电流，由T1的初级2脚输出电压，经滤波电容C6滤波形成+18V电压供风扇电机使用。同时通过T1的电磁耦合，在T1的次级感应出高频电压，再由高频二极管VD7、三端稳压集成IC1（78L05）、电容C8、C7组成整流、滤波电路，形成+5V电压作为微处理器IC3（HT46R22）及其他控制、保护电路的工作电源。

遂检查上述电路元件，发现限流电阻R38发黑，经检测，已断路。由此确认是R38烧坏造成+18V、+5V电压中断，引起所述故障。更换R38（36Ω/2W）后，通电试机，电磁炉一切功能正常，故障排除。

开关电源芯片IC4（VIPer12A）实测电压如附表，供检修参考。

例4 开机，风扇不运转，炉温升高。

分析检修：引起该故障通常是风扇电机本身损坏或风扇驱动电路有故障。先拔出插接件CN2，用外接12~18V直流电源接风扇两端，M启动运转，排除了风扇电机本身损坏的可能性，由此判断，故障在风扇电机驱动电路。风扇电机驱动电路如图3所示。开机后，微处理器IC3（HT46R22）的4脚输出高电平，经电阻R34加至驱动管VT2的b极，VT2饱和导通，+18V电压经插接件CN2、风扇电机M、驱动管VT2的c、e极到地形成电流回路，风扇电机M启动，为炉温散热。电路中，VD5为续流二极管，若遇M停转时，电机线圈的电流通过VD5释放，防止VT2被击穿烧坏，起保护作用。开机后，测量微处理器IC3的4脚电压为4.8V，正常。断电，分别检查CN2、M、VD5、VT2、R34等元件，发现R34断路。更换R34（3.3kΩ）后，通电试机，风扇正常运转，故障排除。

例5 开机“嘀”一声，2s后显示故障代码“E6”，风扇正常运转，但不加热。

分析检修：故障代码“E6”的含义为炉面温度传感器开路。炉面温度检测电路如图4所示，炉面温度检测电路由插件CN3、负温度系数热敏电阻RT1（安装在加热线盘中央位置，与炉面板接触）、分压电阻R42、高频旁路电容C19和微处理器IC等组成。开机，测量IC3的7脚电压为0V，正常电压为0.2~0.7V。首先检查CN2，接触良好，接着检查RT1、R42和C19等元件，发现RT1玻璃封头根部引线折断。由此确认，RT1开路造成IC3内部保护电路实施保护，因而出现“E6”故障代码。用电阻值为100kΩ的负温度系数热敏电阻更换RT1后，通电试机，电磁炉正常加热，故障排除。

◇李刚

电动自行车常见故障的检修

电动自行车以蓄电池为能源，以无刷直流电动机为动力，具有骑行操作简便、无空气污染、噪声低、维护修理简单等优点，故在社会上有相当的拥有量。电动自行车虽然种类繁多，结构也有多种形式，但总体结构基本相同。归纳起来，基本都是由车体、控制系统、电机及车轮、仪表显示盘、蓄电池与随车充电机等5部分组成。下面就电动自行车常见故障及故障检修方法作具体介绍。

打开电门锁后，电源指示灯不亮，电压表无指示

这通常是主保险管（30A）熔断，或蓄电池接线松脱造成的。若是保险管熔断，应更换同规格保险管，若更换后再次熔断，说明电路存在短路故障，可先检查电源引线是否存在短路。若正常，应检查无级调速主电路中单向晶闸管是否击穿（图1中的VT1、VT2）。若晶闸管正常，很可能是无刷电机M定子线圈搭铁（对地短路）。应检查排除。

打开电门锁后，电源指示灯能点亮，但转动调速手把电机不转，车不能前进

形成该故障的原因有：（1）调速手把中的调速电位器RP损坏或磁钢与钢丝绳连接松脱。或调速主电路有开路故障（图1中的VD1开路）。先检查调速电位器，若有问题，应清洗或更换电位器。若是钢丝绳松脱，可将磁钢与钢丝绳重焊后并夹紧即可。若是调速主电路有开路故障，应检查予以排除。（2）电机接线插头松脱或电机损坏。先观察电机接线插头是否松脱，若正常，可测电机电源输入引线两端是否有输入电压（注：此时调速电位器RP应有一定阻值）。若没有电压，说明调速控制电路还有问题，若有电压，则很可能是电机损坏，应检修或更换。（3）过载或电瓶本身充电不足。这种情况一般是电瓶使用年限较长，致使电池内阻过大。如遇负载过重或上坡起步，就会出现电池电压陡降，使欠压保护器动作，从而发生上述故障。对于这种情况，应先检查电瓶电压，如加载后电压陡降，可确认电瓶老化或充电不足，应更新或充电。有必要说明，当电瓶更新或重新充电后，要解除欠压保护，必须先按一下复位按钮，待复位保护器后，电压才能送入电机。

调速失灵或车速始终较低

导致这种故障的原因主要有：（1）电池电压过低。这种情况可能是电瓶使用年限较长，致使电池内阻过大或电瓶本身充电不足。可先按电池10小时放电率充电8～10小时再试，若带负载后电池电压迅速下降。则说明电池已损坏，应予更换。（2）调速手把中的调速电位器RP损坏或无级调速电路损坏。先用万用表检查调速电位器阻值是否正常，旋转手柄，观察阻值变化是否均匀。若是它的问题，应清洗或更换电位器。若电位器正常，则可能是无级调速电路损坏。（3）调速把中复位弹簧被卡住或失灵。这种情况可通过手感就能确认，拆开手把，除去障碍物或更换弹簧。

一次充电后持续行驶的里程过短

形成这种故障的原因主要有：（1）电池已充电250次以上，接近报废，应更换新电池。顺便说明，电池充电电流切勿过大，充电电流通常为容量(安时数)的1/10，且不能过充，也不能欠充，电池电量应维持在70%左右放电循环使用，这样寿命可达充放电500次。否则电池极板极易硫酸化，使容量大大缩短，尤其是在过度放电或亏电存放情况下更是如此。因此，电动自行车在骑行完后，一定要将电瓶充足电后再存放。另外，尽量避免在0℃以下环境下用车，这是因为在低温环境下电瓶容量会降低，且过度放电后，容量很难充电恢复。（2）充电器不良或蓄电池充电时间过短。在充电电流为容量

图1 无级调速主电路图

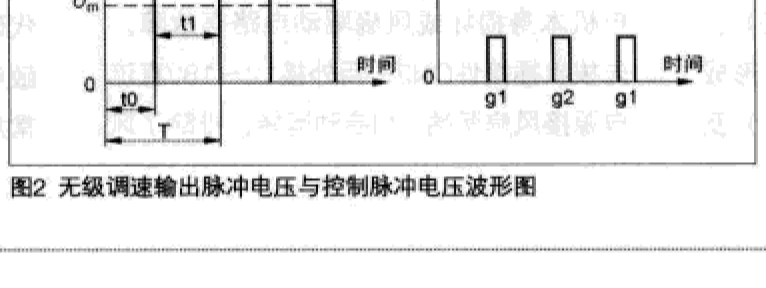


图2 无级调速输出脉冲电压与控制脉冲电压波形图

图3 无级调速副电路方框图

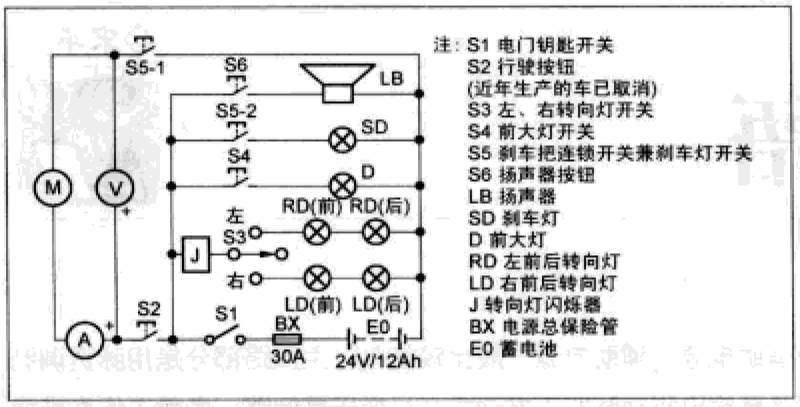


图4 普通电动自行车基本电路原理图

(安时数)的1/10时，充电时间不得少于8小时。

充电器不充电或充电时充电器发烫

充电器不充电的原因通常有：（1）充电器插座脱落或插头与插座接触不良。这通过观察即可发现，若松脱，应紧固接插件，再插好插头。（2）电池盒内保险管熔断。若是，应更换同规格保险管。（3）电池组相互接线氧化或断开。这是电池组的通病，这是因为硫酸能通过毛细管现象沿多股铜导线向前浸润，使导线氧化或腐蚀断开。若是，应除去氧化层，将线重新接好，并涂上704硅胶，防止再次氧化。（4）充电器损坏。可用万用表检测充电插头是否有直流电压输出，若没有，说明充电器损坏，应修理或更新。至于充电时充电器发烫，可能是充电电流过大，若是，应将电流调至电瓶容量(安时数)的1/10或以下。若仍发烫，则表明充电器内电源变压器绕组存在匝间短路或其他元件存在击穿故障，需要修理或更换充电器。

在骑行时闸把突然损坏

形成该故障的原因通常有：（1）强行大电流启动（指启动时突然将调速手把逆时针旋转到底），致使大电流将保险管熔断。因此启动时，应缓慢转动调速手把，待车开始行走后，再继续缓慢转动调速手把，提高车速。（2）刹车时未断开电机电源，使电机堵转而形成大电流，将主保险管熔断。闸把有机械式和霍尔式两种。机械式闸把有常开式和常闭式两种，通常使用的是常开式。它是一种自复位式双刀双掷开关，当捏紧闸把时，制动鼓张开，对车进行制动。与此同时，由于常开开关闭合，故刹车灯点亮，常闭开关断开，切断电机电源，使电机停转。检修这种开关故障时，可先找出常闭开关上的两条引线（一般为红、橙色），用万用表欧姆挡测其电阻。在未捏动闸把时，其阻值基本为零。当捏动闸把时，其阻值应变为无穷大，否则，说明闸把开关损坏，应予修理或更换。霍尔式闸把开关有低电位有效和高电位有效两种。它是利用一个开关型霍尔元件输出开关信号，它有3根引出线，其中，黑线为接地线，蓝线为制动信号输出线，红线为5V电源供给线。在接地线良好、且5V供电电压正常情况下，测量其闸把开关信号线电压，即可判断闸把开关是否损坏。

下面以低电位有效霍尔式闸把开关为例予以介绍。将万用表拨至直流电压挡，黑笔接地，红笔接蓝色制动信号输出线。在正常情况下，当捏紧闸把时，电压表指示为1V左右，松开闸把时，指示为4V左右，否则，说明闸把开关损坏，应予修理或更换。而高电位有效霍尔式闸把开关测量结果与上述相反，在此不再赘述。如果测量电压正常，则说明闸把开关正常，问题在控制电路，应修理或更换。

骑行中感觉动力不足，且电机过热

在电池电压、负载、轮胎气压及路面骑行条件均正常情况下，就要考虑故障是电机速度控制电路或电机本身问题了。控制电路的判别方法是：将电动机与速度控制电路相连接的接插器拔下，选择万用表直流电压挡，让黑笔搭铁，红笔接速度控制电路（简称控制器）的电机驱动电压输出端。转动速度控制把，其输出电压应从0V升至接近电源电压90%（这是因为速度控制把逆时针转到底时，其控制器输出

TIPS

为帮助读者检修，下面简要介绍无级调速电路工作原理。无级调速电路也称无级调压变速电路，常用的是斩波器电路，也称调速主电路（见图1）。斩波器实际上是一个脉冲宽度可调直流电源（输出控制脉冲电压波形见图2a），电机的速度调节是通过改变电机输入电压脉冲宽度来实现的。在图1中，当单向晶闸管VT1、VT2截止时，电源E0经VD1、L1、VD3和电机M对电容C充电。当VT1导通后，电机M得电转动。VT2在VT1导通后延时导通，使由C、L1、L2形成的LC振荡电路产生振荡，其振荡电压经VD3使VT1阴极因加入正电压而关断，VT2也会因阴极加入正电压而同时关断。于是电源又一次对电容C充电……然后重复上述过程。显然，加在电机两端的电压是脉冲电压。因此，只要改变VT1、VT2触发脉冲的时间间隔t0，就可以改变加在电机上的脉冲电压宽度，进而改变车速。

无级调速副电路原理方框图如图3所示。无级调速副电路输送给VT1的触发脉冲g1，与单结晶体管等元件构成的振荡器的振荡电压同相位。而VT2的触发脉冲g2（g1、g2触发脉冲波形图见图2b）则要经单稳态触发器延时，其延时时间的长短由单稳态触发器的时间常数调节电位器RP调节，只要改变RP的阻值就能达到调速的目的。RP通常设置在车右车把上，故只要旋动右车把，即可实现速度调节。另外，当捏动霍尔式制动闸把时，它输出的控制信号能使振荡器停振，导致g1、g2输出脉冲为零，电机因失去驱动电压而停转。若确认是无级调速电路损坏，应进行修理或更换。

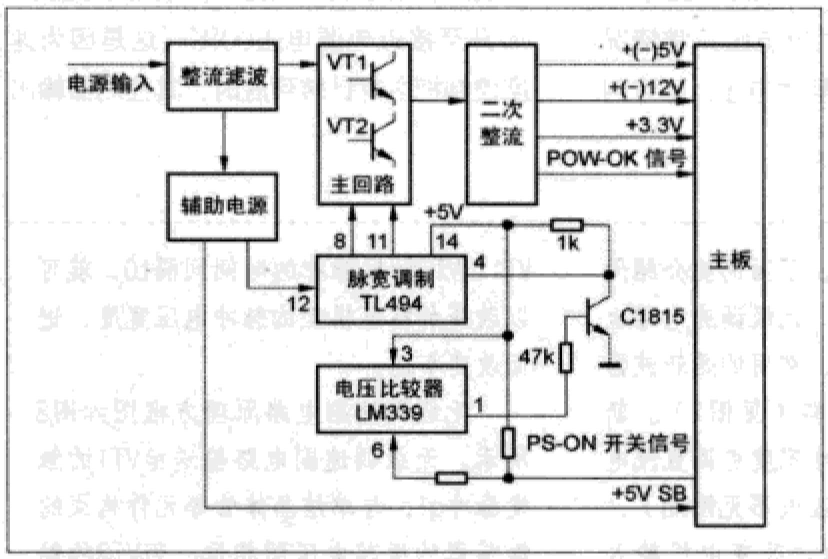
维修一点通

ATX电源的检修感悟

◇宋华

电脑ATX电源内部结构比较紧密，控制环节多，多路输出，输出电流大，修理时会感觉难度大。其实，很多电脑ATX电源的故障维修还是比较简单的，了解其基本原理，只要有初级的维修经验就能解决大部分故障。前段时间，我从废旧的电源里找出一部分进行了维修，成功率很高，修复后的质量不打折，也很有经济价值的电源，比那些价格便宜的山寨电源要好得多，很值得电子爱好者动手试一试。

一般的ATX电源由五大部分组成，即：整流滤波部分、主开关电路部分、稳压脉冲控制部分、辅助电源部分和二次整流输出电路部分，见附图。只要搞清开机的控制过程和各部分的关系，就可以分段维修。首先检查主电源初级整流滤波输出的300V是否正常，直观检查几个大功率的开关管和负载二极管是否正常，ATX电源具有软开关控制，开机就进入待机的状态。一定要有一个辅助电源，辅助电源一般比较简单，主回路部分是用脉宽调制振荡器输出驱动脉冲去推动主开关变压器回路，多数工作在推挽模式，另外还有电压比较器控制开关机和各种保护，比较复杂的就是脉宽调制和各种保护电路。二次整流输出电路使用的是压降低、损耗小的肖特基二极管，也不同于一般的彩电开关电源。



ATX电脑电源方块原理图

检修的思路是这样的，以常见的脉宽调制振荡器TL494为例（见附图），先检查辅助电源，输出两组电压，一路紫色5VSB(STAND BY)作为主板的待机电源，另一路输出12V的电压给脉宽调制振荡器12脚供电，并从TL494的14脚输出基准+5V电源，此时绿色开机信号PS-ON为4.5V高电平，脉宽调制振荡器的TL494的4脚为高电压，振荡输出被封锁，处于待机状态。当开机时，主板送出PS-ON低电平信号，脉宽调制振荡器的4脚为低电压，主回路进入工作状态。因此，可以先检修紫色线的+5V待机电源和绿色的PS-ON +5V电压。如果这两个电压不正常，说明待机电源或者脉宽调制IC电路故障，检修相对就比较简单了。如果以上的电压正常，接下来就将绿5V对地短路，强制开机，如果发现对地短路绿5V后，TL494的4脚仍为3.2V高电压，这说明控制电路不正常，4脚始终不能为低电压，主回路就被封锁，不能进入工作状态。实践证明，多发的故障部位是整流电路或待机的辅助电源，具备一般电源的修理常识就完全能够大胆实践。

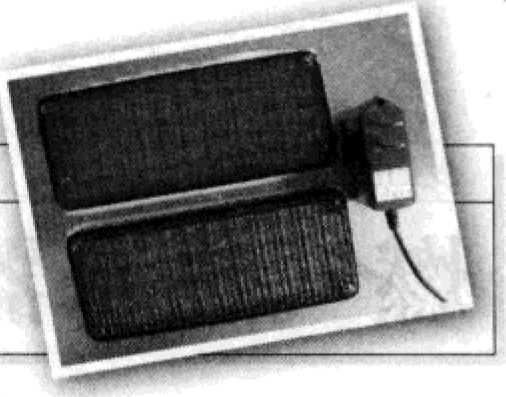
有一种故障现象我印象比较深，在这里给大家介绍一下。有几个电源修复后，各路电压输出和开关机控制都正常，但是就是不能正常使用，装在电脑上不能开机。后来，检查出故障的原因是市电整流电路的两个大滤波电容失效，由于纹波太大造成主机CPU不能正常工作。如果遇到同样故障现象，大家不妨也试一试更换这两个大的滤波电容（200V/3300μF和200V2200μF）。

电压脉冲间隔几乎为零）。若电压变化正常，说明故障在电机。电机故障主要有：（1）由于电机长期过载发热，致使里面的永磁体被退磁。这只能更换永磁体或对永磁体重新充磁。（2）电机绕组匝间短路。这种情况只能重新绕制线圈或更换电机。反之，若上述检测控制器输出电压低或变化范围小，则是控制器问题，应检修或更换。

某灯不亮或扬声器不响

这方面问题除灯泡或扬声器本身损坏外，一般是对应的控制开关或线路出现故障。为方便读者检修，图 4 给出了常见电动自行车基本电路原理图，供检修时参考。

鉴于仪表盘上的里程表、速度表、电源电压指示表及仪表盘上过流、欠压显示电路原理较为复杂，但损坏的情况较少，加之限于篇幅，故障检修在此从略。仪表盘上相关指示仪表通常制成一体化，损坏后一般只能更换整个仪表盘。



◇梁明义

警示灯不发光的检修

接修一台单位保卫科新购的台州产泰格牌警示灯。故障现象为通电不发光且专用的交流电源适配器（12VDC 1000mA）过热。

为了便于维修，本人根据实物绘出电路原理图（见图1）。

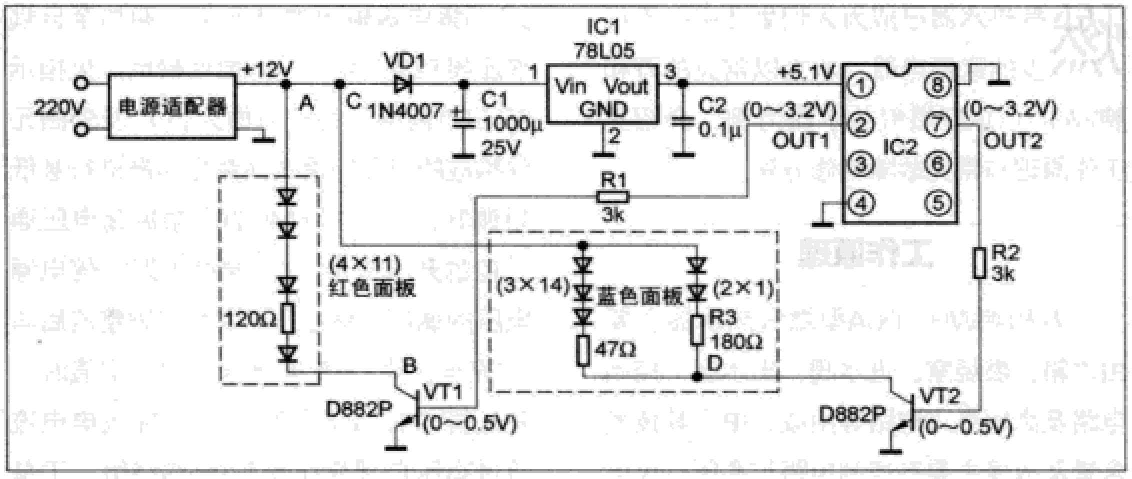


图1 电路图

首先断开负载，测适配器输出端空载电压，电压为12V，正常。打开警示灯外壳（见图2），观察发现C1（1000μF/25V）爆浆，蓝色发光板大部分二极管中芯变黑，明显烧坏。红色发光板二极管外观虽无明显变化，但用指针式万用表的R×1k挡在路测量，显示大部分已经击穿损坏。随后在路逐一检测，发现VD1（1N4007）反向击穿，VT1（D882P）、VT2（D882P）b-e结阻值仅为0.5kΩ，IC1（78L05）输出端对地阻值偏高。将以上元件拆下测量，VD1果然击穿，VT1的c-e结阻值仅为25kΩ，VT2击穿，IC1的输入、输出端均为无穷大，IC1烧坏。将VD1、C1、IC1全部更换，为了安全起见，暂不安装VT1、VT2两管。连接适配器后通电，测量IC1输出，有稳定的+5V电压。用数字表快速测量IC2（原IC块型号未标出）的2脚、7脚，电压在0至3.2V之间跳变。很幸运，IC2可能依然完好。

计划依次修复红、蓝两块发光板，先修红色发光板。将VT1换新后恢复到电路中，边测量边拆掉红色发光板上所有已击穿的二极管，最后仅剩一组完好（排列方式为4只发光二极管串联一只120Ω电阻，如图1所示）。试通电，4只发光二极管闪烁亮起红光，此时测量VT1基极电压在0至0.5V之间跳变，A、B两点间电压也在0至8V之间随之变化。测量单个红色发光二极管的压降约为1.6V，属安全工作电压。随后，将其他损坏的红色发光二极管全部换新，通电，红色发光板恢复正常。用同样的方法边测量边拆掉蓝色发光板上所有已击穿或烧断的二极管，将VT2换新后恢复到电路中，试通电，蓝色发光板闪烁起来，但仔细观察，仍有两只发光二极管不亮，断开与之串联的电阻R3（180Ω）一脚，测量确认R3已烧断。更换R3后，通电，故障完全排除。

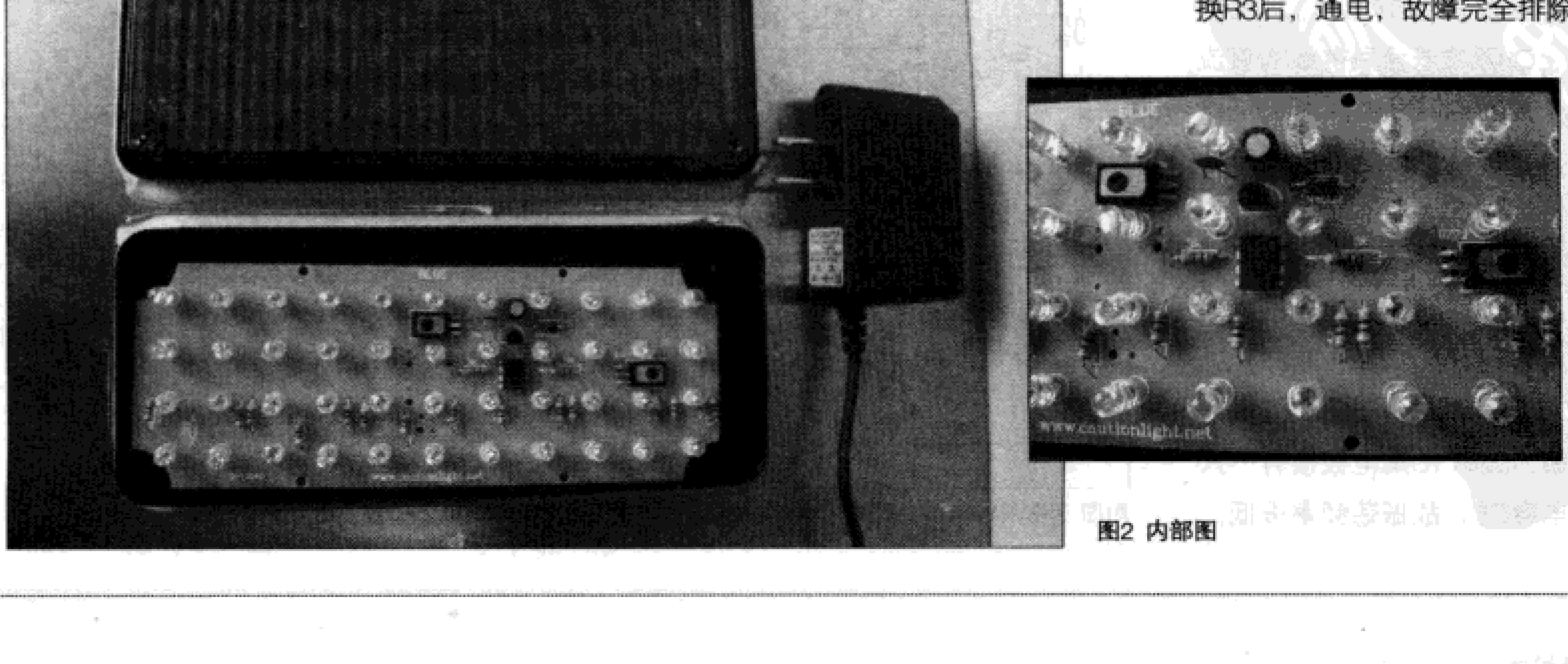


图2 内部图

◇王绍华

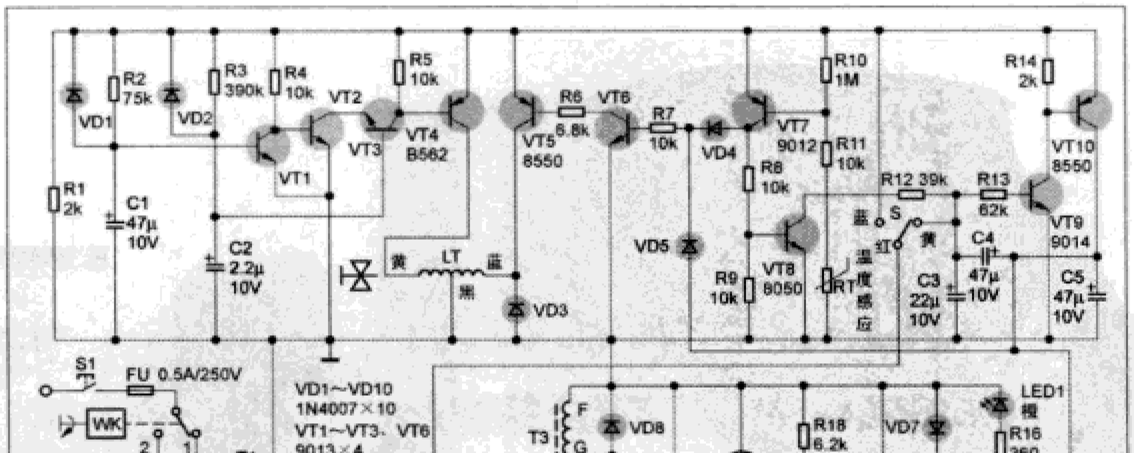
燃气热水器的原理与检修

燃气热水器已成为人们生活中必不可少的家用电器，本文以常见的万和牌WH-100A型燃气热水器为例，介绍其工作原理与常见故障检修方法。

工作原理

万和牌WH-100A型燃气热水器主要由水箱、燃烧室、进水阀、出水阀、控制电路及高压点火电路等组成。由于其技术含量及故障主要在控制电路与高压点火电路（见附图），故本文主要对这部分电路工作原理作一介绍。在准备洗浴前，应先打开进水阀，使水箱储存水，当水位达到洗浴者认为满意时（用户可从水箱外面的水箱中实际水位标度看清），可关断进水阀（若忘关进水阀，当水箱储满水后，多余水会从溢流孔中流出，告知使用者关阀）。接着将温度调节控制器WK（可在30~75℃范围内调节）调节旋钮至洗浴者所需要的温度刻度上，再插上控制电路电源插头，按下自锁式电源开关S1，于是市电经保险管FU、温度控制器的常闭触点（附图中活动触头与触点1接通）加至降压变压器T1初级绕组，红色加热指示灯LED2被点亮，T1次级输出电压经全桥DL整流、C7滤波、R20限流、ZD稳压、C8再次滤波后得到3V直流电压作为整个控制电路及高压点火电路工作电源。其正极接至微型限压水压开关S，该开关在无水或水压很低时，红、黄线接通，C3被充电，为VT9、VT10工作提供初始偏置电压 。当水压达到一定值时，红、蓝线接通（红、黄线断开），全电路得电。VT9、VT10由于C4的正反馈形成低频振荡，因VT10集电极接有一只容量较大的电容C5，故振荡频率很低。VT10集电极输出的甚低频脉冲加至自耦变压器T2的C点，一方面使橙色点火指示灯LED1闪亮。另一方面为VT11及外围元件构成的电感回授式高频振荡器进行甚低频调制，使VT11产生的高频振荡电压通过T2的升压作用，在A端得到近20倍电源电压的调制高频电压，并经VD6整流后向C6充电。当C6充电电压达到一定值时，开关管VT12放电导通，C6脉冲放电电流通过高压自耦变压器T3的FG绕组，于是在绕组D端得到一万多伏的脉冲调制高频电压，通过点火器尖端放电产生的电弧为煤气点火。在水压开关S红、蓝线接通的同时，控制部分电路也开始工作。电源经R4为VT2提供偏置，使VT2率先导通，由于C2容量较小，充电快，故VT3、VT4随之导通。而VT4的负载是煤气电磁阀LT的黄、黑引出线绕组，该绕组电阻小，通过的电流大，能使电磁阀迅速启动并打开电磁阀，使煤气经电弧点火而燃烧。

在VT9、VT10振荡及C5充电的同时，VD5导通。于是VT6获得正偏电压而导通，使VT5也导通。而VT5的负载是煤气电磁阀LT的黑、蓝引出线绕组，该绕组电阻大，通过的电流小，于是该绕组以小电流维持电磁阀的吸合状态，使煤气仍源源不断流出维持燃烧。此时，较大容量的C1经缓慢充电，使VT1逐渐进入导通状态。于是VT2截止，VT3、VT4也随之截止，电磁阀LT完全依靠VT5导通下的小电流维持吸合状态，以节约能耗。需要说明的是：在VT7的基极经R11引出了一根导线连接至NTC热敏电阻元件RT。该热敏电阻置于煤气火焰旁，在电弧将煤气点燃后，燃烧产生的高温将使RT的阻值下降许多。于是VT7导通，电流经R8使V8正偏导通。显然，C3正极储存的正电荷经R12、VT8的 c、e极予以泄放，从而使VT9、VT10、VD5、VT11、VT12及LED1均截止。LED1不再闪亮，放电针也不再打火。由于VT7导通，使VD4负极为高电平，经VD4、R7使VT6导通→VT5导通→继



附图 万和牌WH-100A型燃气热水器控制电路与高压点火电路

续使LT保持小电流吸合→维持煤气继续燃烧。当水箱中的水被加热到设定温度时，在水箱的非储水面安装的温度控制器WK会动作。使温度控制器的常闭触点断开，常开触点闭合（附图中活动触头与触点1断开与触点2接通）。于是整个控制电路失电，煤气电磁阀关闭，火焰熄灭，红色加热指示灯LED2也熄灭，绿色提示洗浴指示灯LED3被点亮，提醒洗浴者洗浴。

检修方法

1．按下电源开关S1后，红色加热指示灯LED2能点亮，但橙色点火指示灯LED1不闪亮，也听不到“叭，叭……”放电声。

该故障说明电源电路或点火电路存在问题，可先检查C8两端3V电压是否正常，否则应对电源电路作认真检查。由于这部分电路原理很简单，在此不再赘述。如果查得电源电压正常，再测脉冲变压器T2的C点（即C5两端）有无1V左右、频率为0.5Hz的脉冲电压。若没有，说明低频振荡电路有故障。应对C3～C5、VT9、VT10、R12、R14等进行检查。必须说明，要起振，VT9、VT10的β值不得低于100。若查得C5两端脉冲电压正常，则说明高频振荡电路存在故障。应对VT11、R15、T2等进行检查。顺便指出，T2的C、D段直流电阻为0.9Ω，C、B段直流电阻为1Ω，A、B段直流电阻为18Ω。若异常，说明T2有开路或短路故障，应更换或重绕。

2．按下电源开关S1后，橙色点火指示灯LED1闪亮，但听不到“叭，叭……”放电声。

这说明低频振荡电路正常，故障应在高频振荡电路或点火升压电路。可先测VD6负极是否有近60V直流电压，若没有，表明故障在高频振荡电路。应对VT11及其周边元件进行检查。若VD6负极电压正常，说明故障在点火升压电路。应对VT12、C6、T3等进行检查。顺便指出，T3的F、G段直流电阻为0.8Ω，G、D段直流电阻为20Ω。若异常，说明T2有开路或短路故障，应更换或重绕。若VT12损坏，可用单向晶闸管MCR100-6/8替换，其阳极接VD6负极，阴极接地，控制极接R17即可。

3．打开电源开关以后点火指示灯LED1闪亮，也能听到“叭，叭……”放电声，但没有燃烧火焰。

这只能有两种可能：一是煤气或天燃气已用完。二是控制燃气阀开闭的控制电路或电磁阀本身发生故障，导致燃气阀未打开。如果确认不是气源问题，就应检查电磁阀LT的黄、黑引线（或黑、蓝引线）两端是否有约2.3V电压。若没有，则是燃气阀开闭控制电路有故障。应对VT1～VT5、C1、C2、R1～R5进行检查，更换损坏件后故障一般可排除。如果测得电磁阀LT的黄、黑引线（或黑、蓝引线）两端电压正常，则应是电磁阀损坏。正常情况下电磁阀黄、黑引线间绕组直流电阻为5Ω，黑、蓝引线间绕组直流电阻为49.5Ω。若测得上述绕组直流电阻异常，应更换或重绕。

4．使用中燃气逐渐减小，最后火焰熄灭。

该故障的主要原因有二：一是燃烧火焰过小，导致燃烧的温度不能使RT的阻值下降许多，造成VT7不能保持导通，进而使VD4、VT6、VT5截止，电磁阀LT因无维持电流而关闭。应对供气管道、燃气减压阀进行检修或更换，使供气充足。二是VT7放大倍数过低（应大于120），使VT6、VT5不能导通，或VT6、VT5损坏，最终导致电磁阀LT因无维持电流而关闭。故应对VT7～VT5以及它们的周边元件进行检查。更换损坏件，故障即可排除。

检修实例

例1 按下电源开关 S1 后 LED2 能点亮，但橙色点火指示灯 LED1 不闪亮，也听不到“叭，叭……”放电声。

经查，C8两端3V电压正常，但测C5两端却没有1V左右、频率为0.5Hz的脉冲电压。据此，说明低频振荡电路有故障。于是对C3～C5、VT9、VT10、R12、R14等进行检查，结果发现正反馈电容C4已漏电，更换后试机，橙色点火指示灯LED1闪亮，故障排除。

例2 打开电源开关S1后，橙色点火指示灯LED1微闪亮，但听不到“叭，叭……”放电声。

先测VD6负极发现没有近60V直流电压，可见故障在高频振荡电路。试对VT11及它的周围元件进行检查，发现V11的b-e结已开路，经更换V11后开机，故障消失。

例3 打开电源开关以后，点火指示灯LED1闪亮，也能听到“叭，叭……”放电声，但没有燃烧火焰。

经查，燃气并未用完，这说明是阀门开启电路或电磁阀本身有故障。再测电磁阀黄、黑引线两端电压为零，显然至少表明以VT2～VT5及它们周边阻容元件构成的阀门初始开启电路有问题。经进一步检查，发现C2已没有充放电能力。更换后通电试机，故障不再出现。

例4 使用中燃气逐渐减小，最后火焰熄灭。

经观察发现，初始燃烧火焰并不小，看来问题在电磁阀小电流吸合维持电路。故对VT7～VT5以及它们的周边元件进行检查，发现VT7的放大倍数不足30，且c、e极反向漏电流增大。经更换VT7后开机，燃气燃烧恢复正常。

例5 热水温度不能控制，绿色提示洗浴指示灯LED3也不亮。

使用中突然发现热水温度不能控制，一直处于加热状态。显然故障在温度调节控制器WK，经换新后试机，温度控制恢复正常。

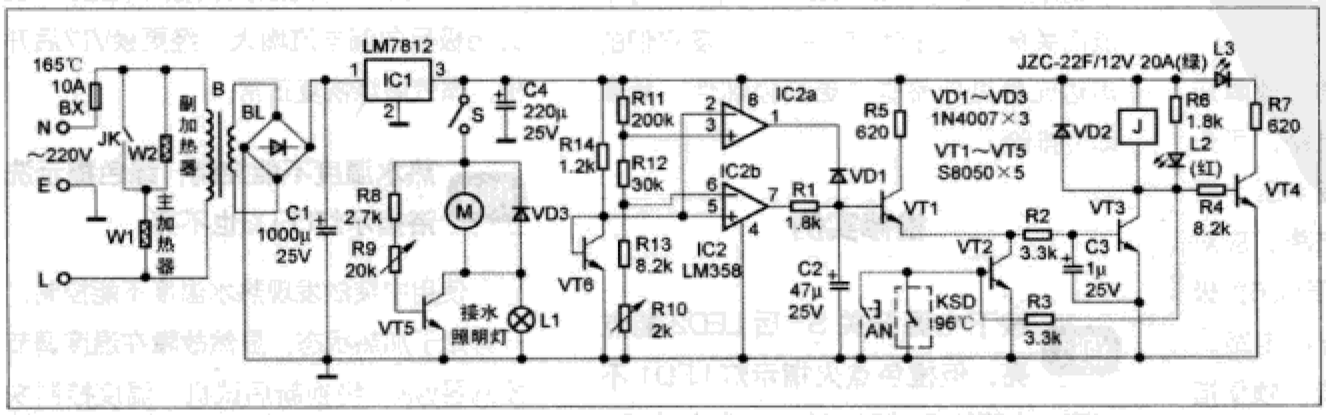
◇余俊芳

电热水瓶的原理与维修

希贵PZL-70A型电热水瓶具有自动煮水、自动保温及再沸腾功能，并设有电子泵水系统、接水照明电路及保护电路。该型电热水瓶在许多家庭和企事业单位被广泛使用，目前已进入维修期，下面介绍该型电热水瓶的工作原理与常见故障的检修方法。

工作原理

希贵PZL-70A型电热水瓶电原理图见附图。其工作过程是：220V市电经变压器B降压、桥堆BL整流、C1滤波及三端稳压块IC1稳压后由IC1的3脚输出12V直流电压作为整机控制电路电源。在刚通电时，由于安装在瓶盖上的温度传感器Rt阻值较大，双运放IC2（LM358）的第二单元IC2 b的5脚（正相输入）电位大于6脚（反相输入）电位，故输出端7脚输出高电平，此高电平经R1加至控制管VT1 的b极。于是VT1导通→VT3导通→继电器J得电→常开触点闭合，主加热器W1开始工作。与此同时，红色加热指示灯L2点亮，表示电路处于加热状态。当水加热至沸腾后，安装在瓶底的温控器KSD（96℃）会跳开断路→VT2导通→VT3截止→切断加热指示灯供电回路，加热指示灯熄灭。与此同时，安装在瓶盖上的温度传感器Rt阻值会减小许多，致使IC2 b的5 脚电位降低，且低于6脚电位，导致7脚输出低电平→VT1、VT3截止→继电器J失电→常开触点断开→主加热器W1与副加热器W2串联后接入市电，电热水瓶转入保温工作状态。由于VT3截止→VT4导通→绿色保温指示灯L3点亮，表示电路处于保温状态。随水温降低，温度传感器Rt阻值会逐渐增大→IC2 b的5脚电位上升，当5脚电位大于6脚电位时，7脚输出高电平→VT1再次导通，但由于温控器KSD断开，故VT2导通，将VT3的b极钳位于低电平，即VT3仍截止，继电器常开触点仍断开，电热水瓶仍维持保温工作状态。故此期间瓶中水温将一直维持在85～90℃的范围内。若在保温期间希望水沸腾，可按一下自复位再沸腾开关AN，则VT2转为截止（即使AN复位，也有R3将VT2的b极继续钳位于低电平）→VT3导通→电路又进入加热状态。待水沸腾后，电路又转入保温工作状态。图中M是泵水电机，当接水杯向内运动靠近水瓶出水口时，会触及挡板从而使轻触开关S闭合。于是接水照明灯点亮，水泵得电运转，将水泵出。调节R9可改变VT5的导通程度，从而达到改变电机转速，即改变水泵出水速度之目的。调节R10可改变IC2的6脚电压，即调节加热停止时水瓶中水的温度（R10阻值越小，IC2的6脚电压越低，加热停止时水瓶中水的温度越高，不过出厂时已用油漆将R10调整部位封固）。IC2 a的作用是当Rt出现故障（比如阻值变大或开路）或取下瓶盖时，其2脚电平将高于3脚电平，显然其输出端1脚会输出低电平，并将VT1的 b极钳位于低电平，使之截止，从而使电热水瓶不能进入加热状态。



附图 高频主电路及驱动电路图

检修方法

该型电热水瓶常见故障有如下几种。

1. 加热指示灯不亮，不能加热

该故障应先检查电源插头与电源插座是否接触不良，若正常，应再检查温度保险管BX（250V/10A/165℃）是否熔断。如果也正常，可接着查IC1的3脚电否有12V电压输出，否则，说明市电降压、整流、滤波及稳压电路存在故障，应检查确认排除。假定IC1的3脚输出电压正常，则可查IC2的5脚电平是否高于6脚电平。若低于6脚电平，应对R10～R14、Rt进行检查，更换损坏件。顺便说明，温度传感器Rt在常温下用万用表R×1k挡检测，正向电阻为9kΩ（R×100挡测为2kΩ），反向电阻为无穷大，若损坏，可用MTS-102管代换。则若确认IC2的5脚电平高于6脚电平，可再测IC2的7脚输出是否为高电平，否则表明IC2已损坏，应予更换。若查得IC2的7脚输出是高

电平，应再查VT3的c极是否为低电平，若不是，可接着查VT1的 e极是否为高电平，否则说明R5或VT1出现开路性损坏。假定查得VT1的 e极是高电平，应再测VT3的 b极是否为高电平，若不是，则说明R2开路或C3短路。若VT3的 b极为高电平，则说明VT3出现开路性损坏。更换后故障通常可排除。

2. 加热指示灯点亮，但不能快速加热

加热指示灯能点亮，说明VT3的c极为低电平，继电器在正常情况下应已吸合。现不能加热，故障原因只有两种可能：一是继电器损坏（含继电器常开触点严重烧蚀氧化而不通），二是主加热器开路性损坏。

3. 水沸腾后还继续加热，不能进入保温状态

出现该故障可能原因有：（1）基准电压设置偏低，可适当调大R10数值，使IC2的6、4脚间电压为446mV。（2）IC2损坏（比如7、8脚内部击穿），可检测或用替换法确认。（3）继电器损坏（比如常开触点发生粘连，致使继电器工作绕组失电，常开触点也不能断开），可检查排除。（4）控制管VT1或VT3出现击穿性损坏。若检测确认，更换即可。

4. 水未沸腾就进入保温状态

该故障可能原因有：（1）基准电压设置偏高，可适当调小R10数值，使IC2的6、4脚间电压为446mV。（2）继电器J常开触点烧蚀，致使常开触点虽闭合但实际触点并未导通。检查确认后，更换即可。（3）温控器KSD变值，致使还未达到温控点就提前断开。可更换新品（KSD301-96℃-250V/5A）试之。

5. 水沸腾进入保温状态后，又再次沸腾

导致该故障的原因有：（1）温控器KSD未紧贴瓶底，可检查，若是，应拧紧弹簧压。（2）再沸腾按钮AN复位弹簧失去弹性，导致触点短路，可检查排除。（3）副加热器阻值变大或开路，使保温状态下的水温降低，导致KSD导通、VT2截止、VT3导通，电路进入加热状态而使水再次沸腾。可检查确认（副加热器正常电阻值为9.6kΩ），若异常，更换后故障即可排除。

6. 电机不泵水，接水照明灯L1也不亮

形成该故障的原因可能有：（1）电机绕组开路性损坏。本型电机为永磁式同步电机，电机绕组直流电阻约为4.7kΩ，若测得阻值异常，应予更换。（2）微动开关S内部触点接触不良，致使电机失去电源而停转。

7. 电机不泵水，但接水照明灯 L1 能点亮

这说明微动开关S良好，水泵电机不转的可能原因有：（1）电机绕组严重短路，检测绕组直流电阻便可知晓。（2）水泵内积有水垢，阻碍水泵叶轮无法旋转，在硬水使用地区极易形成该故障，若测得电机绕组直流电阻和供电压正常，但电机不转，则可确认为该故障，此时可拆开泵壳，清除水垢。但在还原时，注意先在泵壳结合部涂上一层704密封胶，以防漏气。

检修实例

例1 不能加热，红色加热指示灯也不亮。

先测三端稳压器IC1的3脚，发现有12V电压输出。再测双运放IC2的7脚有高电平输出，接下来测VT1的 b极也为高电平，但c极却为低电平，显然，负载电阻R5有问题。经查，R5果然开路，更换后开机，故障排除。

例2 红色加热指示灯点亮，但不能加热。

经查，继电器已吸合，且主加热器W1供电端有220V市电，据此表明主加热器已开路，更换后试机，加热恢复正常。

例3 水沸腾后还继续加热，不能进入保温状态。

经测，IC2的6、4脚电压为0.45V左右，属正常。再测VT3的c极是高电平，说明继电器常开触点应断开，现在主加热器一直加热，很可能是继电器常开触点发生粘连，经测量果然如此。用同型号继电器更换后开机，故障不再出现。

例4 水未沸腾就进入保温状态。

首先测IC2的6、4脚电压，电压为0.56V左右，显然基准电压设置过高。检查发现R10活动触头有氧化现象，于是用实芯2kΩ可调电阻替换R10，然后调整R10，使IC2的6、4脚电压为446mV，试机，故障排除。

例5 水沸腾进入保温状态后，又再次沸腾。

观察发现温控器KSD未紧贴瓶底，致使对水温变化过于敏感。经重新拧紧温控器弹簧压片后开机，故障消失。

例6 电机不泵水，接水照明灯L1也不亮。

经检查，微动开关S在接钮按下时，内部触点并未接通，看来已经损坏。经更换微动开关后试机，泵水恢复正常。

例7 电机不泵水，但接水照明灯L1能点亮。

先检查水泵电机绕组直流电阻，发现约为4.7kΩ（属正常），拆开水泵泵壳，发现里面积有不少水垢，用手拨动水泵叶轮，发现转动严重受阻，经仔细清除水垢，并复原水泵后（复原时在泵壳结合部涂一层704胶，以保证密封）试机，泵水恢复正常。

◇梁明义　牟善江

LED显示屏专用开关电源的检修

接修一批LED显示屏专用开关电源——CLA-200-5型诚联开关电源（5V/40A）。该开关电源结构简单，无副电源，无过多保护控制电路，因此将检修经验总结出来供同行参考。

电路原理

开关电源的电路原理如图1所示，其外形、内部结构及电路板如图2~图4所示。从图1可见：电阻R4A（150kΩ）、R4B（150 kΩ）、R7（2.7 kΩ）以及R8A（150 kΩ）、R8B（150 kΩ）、R9（2.7 kΩ）构成VT1（2SC2625）、VT2（2SC2625）的偏置电路。通电瞬间，VT1、VT2的静态工作点已经建立，300V直流电在对C6、C5充电的同时，另一路经VT1、推动变压器T2的3-5绕组、主电源开关变压器T1的1-2绕组、振荡电容C7（2.2μF/400V），回到C6的负极。在此期间，T2的3-5绕组产生的感应电动势通过3-4绕组同相作用于VT1的b极，形成正反馈，使VT1加速导通，反之，VT2的b极则属负反馈，快速截止，因此防止了由VT1、VT2构成的单桥臂直通故障。同样在此期间，一旦主电源开关变压器T1次级的5-6绕组，经VD9（FR107）、VD10（FR107）整流出超过7V的电压，IC1（KA7500B）即开始工作，其8、11脚输出相位差180°的脉宽调制信号，输出频率为其5、6脚外接定时阻容元件C14、R20的振荡频率的一半，去控制与推动管VT3、VT4的c极相连接的T2次级绕组的激励振荡。IC1的13脚（输出方式控制端）接稳压+5V（由IC1内部14脚稳压输出+5V电压），决定了脉宽调制器为并联推挽式输出。此后，T2初级它激振荡产生的感应电动势继续作用于T1主电源开关变压器的初级绕组，从T1次级3-4绕组整流输出+5V电压，供负载使用（见图1）。VD15（1N4148）、VD16（1N4148）以及C13（4.7μ/50V）用于抬高推动管VT3（C1815）、VT4（C1815）的e极电平，使VT3、VT4的b极有低电平脉冲时能可靠截止。

电源过载或短路保护电路，由VT5（C1815）、R26、R27、R28、VD17组成，连至IC1的4脚。当电源过载或短路时，+5V输出电压大幅降低，VT5 的b极为低电平，c极呈现高电平，经VD17传至IC1的4脚，当上升的电压超过3V时，关闭IC1的8、11脚的脉宽调制电压输出，使T2

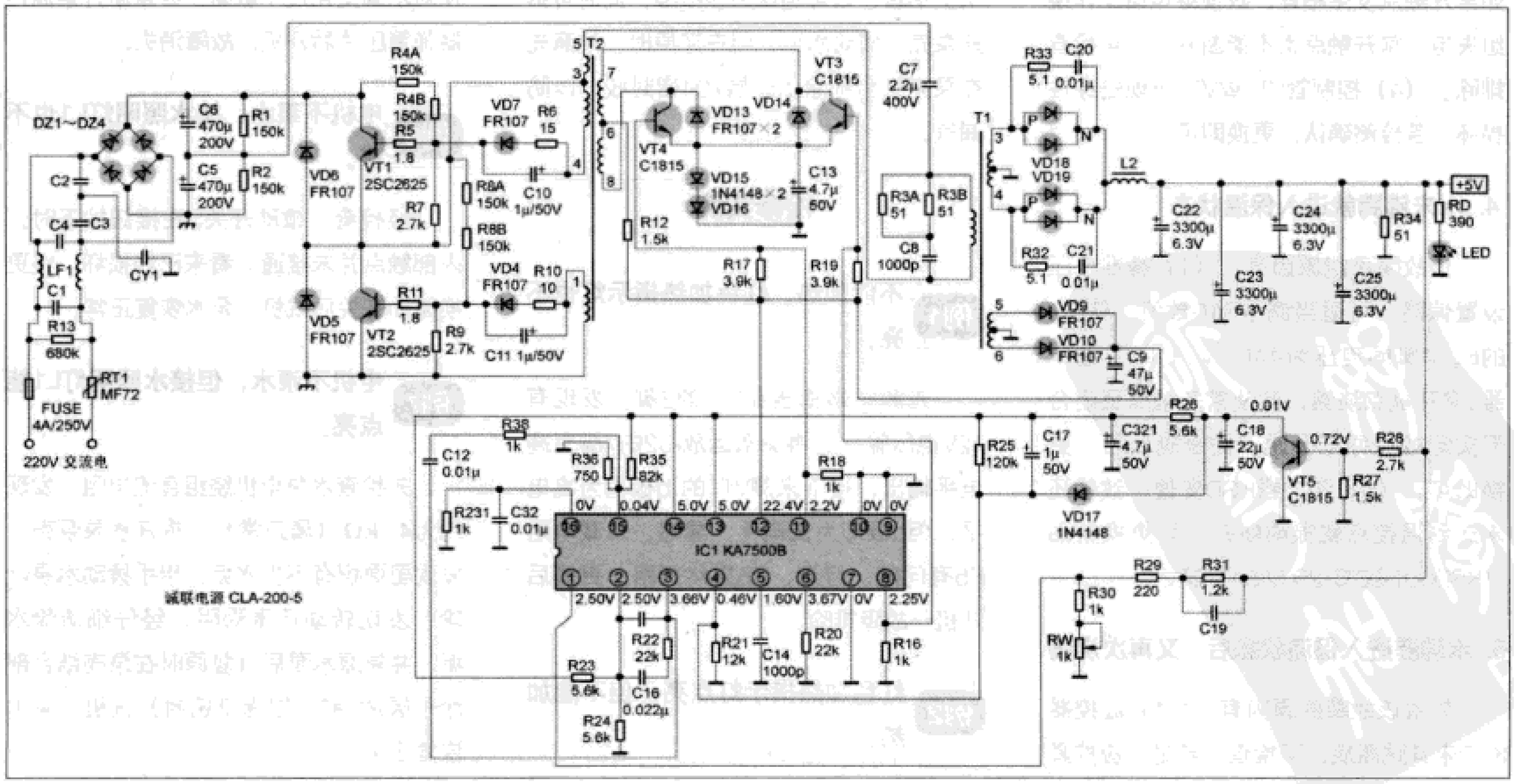


图1 开关电源电路

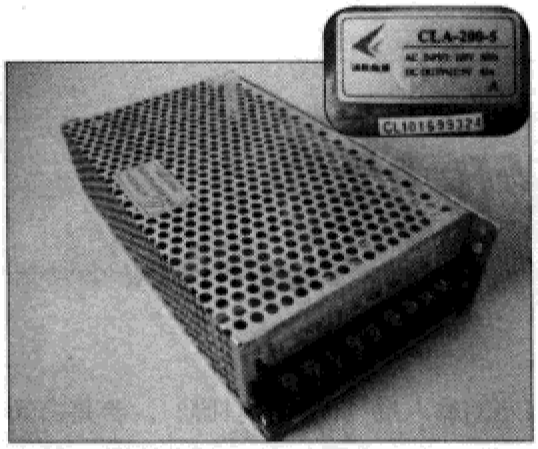


图2 机器外形

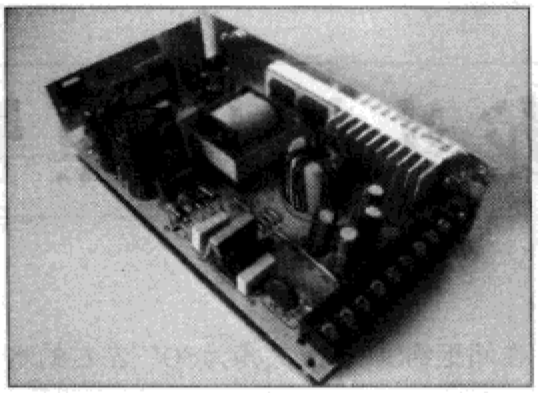


图3 内部结构

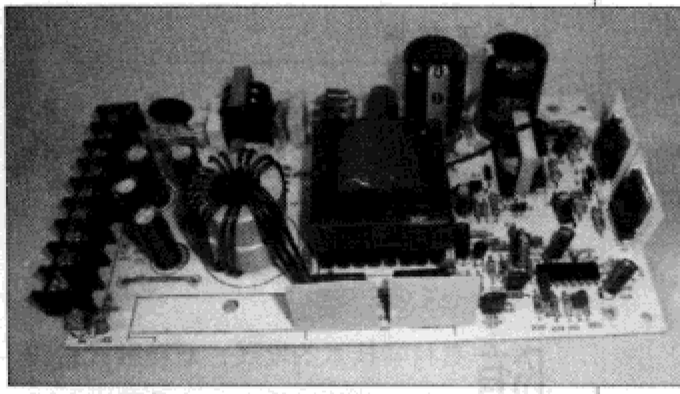


图4 电路板

推动变压器、T1主电源开关变压器停振，+5V输出电压消失，电源处于待机状态（一旦保护，需重启电源才能工作）。而由电阻R29、R30、R31、电位器RP（1kΩ）组成了输出电压控制及微调电路，连至IC1的1脚。电路中IC1各引脚电压（空载）如图1所标注，供以后维修时参考。

典型故障实例

例1 打开电源金属外壳，发现主滤波电容C5、C6鼓顶（损坏原因是错加380V交流电所致），但测量保险丝（FUSE）未熔断（见图1）。在路测量VT1、VT2未击穿，更换C5、C6后（更换过程中，用无水酒精清洗过该处线路板），试通电，LED指示灯亮起绿光，测量+5V输出端电压为5.1V，基本正常。但用数字表的200V挡测量C6两端电压为166V，C5两端电压为127V，分压很不均衡。怀疑与VT1、VT2的导通状态有关，快速测量VT1、VT2两基极的驱动电压，均为－0.24V（空载）。拆掉VT1、VT2及C7后又加电，测量C5、C6分压，电压仍不正常。断开隔离平衡电阻R1、R2的一脚，测得其阻值均为150kΩ，至此，问题只能出在C5、C6两元件了。直接更换C5（因该电容分压值较小，有轻微击穿短路的可能），问题依旧，更换C6后，再测两电容分压均为148V。恢复以上所有元件，加电测试各项参数正常，开关电源修复。

事后对比测量换下的“问题电容”C6，发现指针式万用表的R×100挡摆动幅度并无明显差别，只是两种电容的顶部封装及引脚长度略有不同，由此说明C5、C6的更换必须使用同一批次元件。

例2 打开电源金属外壳，仔细观察电源板上各元件无明显烧焦、变色及变形等外状。在路测量VT1、VT2未击穿，保险丝完好，试加电，LED指示灯不亮。快速测量主滤波电容C5、C6两端无300V左右的直流电压，而电源互感滤波器LF1的输入端有交流220V（见图1），输出端则无。断电后检查出LF1的输出端引脚焊盘内部接触不良，锉刀打磨补焊后故障排除。因LED显示屏处于长期工作状态，开关电源元件引脚脱焊也较常见。实际维修中，要注意补焊LF1。

例3 打开电源金属外壳，在路测量保险丝完好，但VT1、VT2已击穿，同时发现推动变压器T2 的初级一侧引脚焦黄，经测量T2初级1-2绕组断路。从其他相同型号废旧电源板上拆下T2替换，同时在路检测VD4～VD7，两管正常、加速电容C10（1μF/50V）、C11（1μF/50V）外观完好，再将VT1、VT2换新。试加电，绿灯亮起，测量+5V输出端电压为5.1V，C5、C6两主滤波电容分压均衡，开关电源修复。

因T2 初级1-2绕组与地直连，在VT2击穿损坏的同时，过高的直流电压极有可能通过R11（1.8Ω/0.5W），又反向击穿C11（短暂性击穿，可恢复），加至初级1-2绕组上，使其瞬间过流烧断。因此在实际检修中，T2初级1-2绕组也不能放过。

例4 打开电源金属外壳，在路测量保险丝完好，VT1、VT2 未击穿，主电容 C5 略显鼓顶。补焊 LF1 的引脚后，试加电，指示灯不亮，用数字表测量 +5V 输出端电压为 0V，又快速测量 C5、C6 两端分压正常。正纳闷时，维修台灯闪了一下，电源主板发出过短暂的“嘶嘶”声。断电后，测量 VT1、VT2 已击穿，保险丝 FUSE（4A）熔断。将 C5、C6 换新，拆下 VT1、VT2 暂不更换，逐一检测与 VT1、VT2 相关的分压电阻均无问题。试加电，测量 C5、C6 两端分压正常，R7（2.7kΩ）、R9（2.7kΩ）上压降均为 1.3V，基极分压电路正常。将 VT1、VT2 换新后恢复到电路中，但将其 c 极引脚悬空，试加电，测量 VT1、VT2 的基极电压均为 0.55V。断电，将 VT1、VT2 的 c 极引脚补焊，预先把数字表指针连至 +5V 输出端，再加电，只见数字表上“5V”数字一闪便降为“0V”。赶紧断电，测量 VT1、VT2 未击穿。在路测量过载或短路保护控制三极管 VT5 未击穿，T2 推动变压器次级的 VT3、VT4 正常。考虑到每次加电测试均为空载状态，主电源开关变压器 T1 次级自身短路的可能性较大。用数字表的两指针交换测量 T1 次级整流管 VD18、VD19 两端阻值均为 0Ω，而正常电源板上 T1 次级整流管 VD18、VD19 两端阻值约为 47Ω（因为 +5V 输出接有负载电阻 R34。分别断开 VD18、VD19 的一脚，测量发现 VD18 反向击穿。从同型号废旧电源板上拆下 VD18 替换，再加电，绿灯亮起，接大功率风扇负载运行正常，电源彻底修复。

◇王绍华

自动出水水龙头的原理与维修

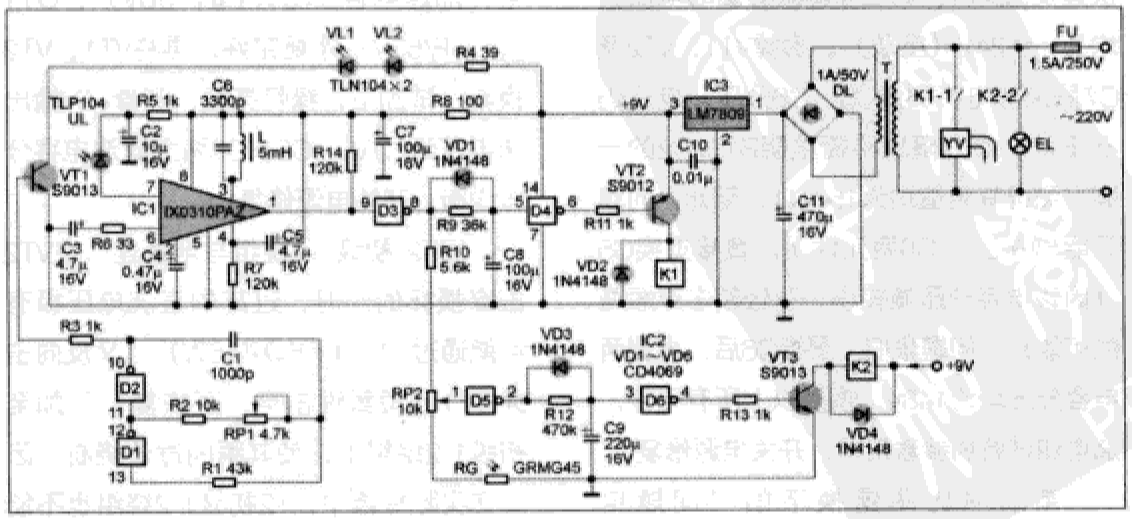
随着科学技术的发展，非接触式感应控制方式的智能家电产品已进入百姓家庭。本文以舒心牌自动水龙头为例介绍其工作原理与常见故障检修方法。

工作原理

该款自动水龙头能自动辨别水龙头旁边是否有人需要用水，当用水者靠近水龙头时，水龙头能自动放水，当用水者离开后，水龙头能自动关闭。如果是晚上，当用水者靠近水龙头时，照明灯还能自动点亮，当用水者离开后，延时片刻灯又能自动熄灭，从而达到自动控制之目的。笔者根据实物画出了该款自动水龙头的电路图（见附图，元件位号系笔者编排）。由图可看出，自动水龙头主要由电源电路、红外线振荡、发射电路、红外线接收与处理电路、供水延时电路、供水驱动执行电路及照明自动控制电路等组成。

当插上自动水龙头电源插头后，220V市电经保险管FU送入降压变压器T初级，次级降压后输出12V送入整流桥堆DL作全波整流，再由IC3（LM7809）稳压后输出9V电压，作为整个控制电路工作电源。

红外线振荡器是由六反相器IC2（CD4069）中的两个非门1和2及它周边的R1、R2、RP1、C1等构成的自激多谐振荡器。该振荡器工作频率约为38kHz，该振荡器输出的方波信号经R3限流后，送入VT1（S9013）放大，然后推动红外线发射管VL1、VL2（TLN104）向空间定向发射红外光波。若无人用水，则红外光不会被红外光接收管UL接收，故电磁阀YV不被打开，水龙头也不会出水。由于红外线发射管与红外线接收管安装在间距约30cm、夹角为60°左右的水池面板上，所以当有人要用水时其辐射到手上的光波被反射到红外线接收管UL（TLP104）的接收端上，并由UL将红外光波转换为电信号送入红外线专用接收、解调集成块IC1（IX0310PAZ）的7脚，在内部经选频、放大、检波及整形后，由1脚输出低电平信号。此信号再由IC2中的非门3反相后由输出端8脚输出高电平。此高电平被分为两路：一路送到放水电磁阀延时电路。其工作过程是，IC2的8脚输出高电平经R9对C8进行充电，当C8两端电压达到2/3电源电压时（注：该过程约需2s时间，设置此延时时间是为了防止有人从水池旁经过时，放水电磁阀瞬时开启而误放水），IC2中的非门4会将高电平反相，由输出端6脚输出低电平。于是晶体管VT2（S9012）导通→继电器J1得电吸合→常开触点K1-1闭合→接通放水电磁阀YV工作电源→电磁阀门打开→给用水者供水。IC2的8脚输出的高电平另一路被送至照明控制电路。其工作过程是，高电平经R10、照明灯点亮时的光照度调整电阻RP2的中心触头送至IC2中的非门D5的输入端（即IC2的1脚）。若是白天的话，光敏电阻RG由于受到光照，其电阻会降到1kΩ以内，于是IC2的8脚输出的高电平经R10、可变电阻RP2、光敏电阻RG分压后，使得加至D5输入端的电平不足电源电压的1/3。因而D5的输出端（即IC2的2脚）仍为高电平，再经非门D6反相后其输出端（即IC2的4脚）又输出低电平→晶体管VT3（S9013）截止→继电器K2不得电→常开触点K2-2不闭合→照明灯EL不亮。晚上无光照后光敏电阻RG的电阻会上升到MΩ级以上，这样，IC2的8脚输出的高电平经R10、可变电阻RP2、光敏电阻RG分压后加至D5输入端的电平将大于电源电压的2/3。故D5的输出端为低电平，再经非门D6反相后其输出端输出高电平→晶体管VT3导通→继电器K2得电→常开触点K2-2闭合→照明灯EL点亮→为用水者提供照明。当用水者用完水离开水池后，红外线接收管UL接收不到红外光→红外线专用接收集成块IC1的1脚输出高电平→非门D3反相后输出端（即IC2的8脚）输出低电平→电容C8正极储存的电荷经二极管VD1迅速泄放→非门D4将低



附图 舒心牌自动水龙头电路原理图

电平反相后，其输出端6脚将输出高电平→晶体管VT2截止→继电器K1失电释放→常开触点K1-1断开→放水电磁阀YV失去工作电源→电磁阀门关闭→不对外供水。需说明的是，非门D5即使在人离开水龙头的瞬间翻转，其输出端输出高电平，但由于电阻R12和电容C9的数值选取较大，加之二极管VD3反偏截止。因此电容C9要经电阻R12在2～3min时间缓慢充电，其正极才能达到2/3的电源电压，此时非门D6的输出端（即VT3基极）才能为低电平→VT3截止→继电器K2失电→常开触点K2-2断开→照明灯EL熄灭。也就是说，在人离开水龙头，水阀迅速关闭，需经过2～3min后，照明灯才能熄灭。这样人性化的设置目的，是为了夜晚在用水者离开水龙头后，留一点照明时间方便用水者能够从容安全离开，以免摸黑酿成事故。

检修方法

1. 用水者手接近水龙头出水口后，水龙头一直不能出水。

出现本故障的原因较多，大致有：（1）电源故障。可先查IC3的3脚是否有9V电压输出，若没有，应查电源保险管FU是否熔断。假定查得电源变压器初级有市电输入，则说明电源整流、滤波或稳压电路有故障，可确认排除。（2）红外线产生与发射电路故障。在确认电源正常后，可将收音机（置于中波段）靠近水龙头附近，并进行调谐，若在某处能听到“嘟、嘟”的多次谐波声，则说明红外线产生、发射电路基本正常，否则表明红外线产生、发射电路有问题，应对C1、R1～R4、RP1、VT1、IC2、VL1及VL2等进行检查。顺便说明，RP1是发射红外光频率调整电阻，选择合适阻值，使发射频率为38kHz。若RP1滑动触头开路，将会使发射频率偏离38kHz较多，从而使接收失败，故RP1是重点检查对象。（3）红外线接收与处理电路故障。当红外光发射频率正确，且接收电路正常时，红外线专用接收、解调集成块IC1的1脚应为低电平，否则说明接收解调电路有故障。应对红外光接收管UL及IC1的周边元件进行检查。实际检修表明，由于UL在水池旁且上方有保护塑壳，该保护塑壳极易被污物所覆盖，从而因接收大打折扣而造成控制失效。（4）驱动或执行机构故障。当确认IC1的1脚为低电平后，就可断定故障在驱动或执行机构。应查IC2的8脚是否为高电平，若为低电平，可能是D3或C8击穿。若查得IC2的8脚是为高电平，应再查VT2基极是否为低电平，假若为高电平，可能是R9、R11或D4损坏。如确认VT2基极是为低电平，可进一步测量VT2集电极是否为低电平，若不是，则是VT2或继电器J1损坏。若是，则可能是继电器常开触点K1-1烧蚀或出水电磁阀工作绕组开路，可检查排除。

2. 人离开水龙头后一直不能关闭。

该故障一般发生在执行机构，常见是继电器常开触点K1-1在接通后突然发生粘连或电磁阀由于复位弹簧锈蚀，导致弹力不足，或阀门回位受阻，使阀门不能复位所致。对症处理即可。

3. 用水者接近水龙头，需等待较长时间水龙头才能出水。

这种故障通常是延时电阻R9阻值变大或延时电容C8严重漏电所致。可分别对上述元件进行检查确认，然后予以排除。

4. 晚间照明灯EL不能点亮。

导致本故障的原因有：（1）控制电路故障。比如：照明灯点亮时的光照度调整可变电阻RP2滑动触头开路、光敏电阻RG损坏、IC2中的D5（或D6）或R13等损坏。可通过检测VT3基极电平来确认。若为低电平，则说明故障点在上述元件之中，反之故障点应在后续的执行电路中。（2）执行电路故障。若已确认故障点在执行电路，应查VT3集电极是否为低电平。否则，应是VT3或继电器K2工作绕组出现开路性故障。（3）若查得VT3集电极为低电平，则可能是继电器K2常开触点K2-2烧蚀或灯泡本身开路。可检查确认，予以排除。

5. 照明灯EL点亮后，不能延时熄灭。

该故障显然是照明延时电路有元件损坏。重点是二极管VD3是否击穿或延时电容C9是否开路或失容。可检查确认排除。

检修实例

例1 用水者手接近水龙头出水口后，水龙头一直不能出水。

经查，电源9V电压输出正常。用收音机在水龙头下方能听到“嘟、嘟”的声响，据此说明红外光发射电路基本正常，问题应在红外光接收处理或执行电路。测红外线专用接收、解调集成块IC1供电端8脚电压正常，但输出端1脚却为高电平。查外围元件无异常，且红外光接收管UL的保护罩并未被污垢所覆盖，故怀疑IC1损坏，可市场上无货。查相关资料，IX0310PAZ可用常见的μPC1373H或μPC1473H代换。试用μPC1373H换上后试之，故障排除。

例2 人离开水龙头后，水龙头一直出水不能自动关闭。

经测量，在人离开水池后，出水电磁阀供电端仍有220V交流电压。再测量控制管VT2集电极为低电平，显然，VT2已经处于截止状态，问题应是继电器K1常开触点处于粘连状态。经更换K1后再试机，故障不再出现。

例3 用水者接近水龙头，需等待几分钟时间水龙头才能出水。

打开机盒找到延时电容C8，发现已漏液，查其漏电阻，竟有几百千欧。更换

◇刘福胜

电磁炉隐性故障维修一例

电磁炉已成为人们生活当中广泛应用的小家电，本文以洛贝（Luoy）LBC-HE203电磁炉为例，介绍其维修方法。

一台洛贝电磁炉使用约2个月，因意外跌落，使微晶玻璃面板破碎。到售后更换一个旧的原机面板，再次使用时发现火力弱小，同样容器中的水，加热到沸腾的时间远远超出预期。仅仅用过几次后，电源指示灯突然熄灭，按键无任何反应。

维修过程：经检测，发现16A保险管熔断，整流桥交流输入端短路，IGBT管H20R1202击穿。在仔细甄别确认无其他器件损坏的情况下，遂将上述器件全部更换新品，IGBT管改用略大于原机电气参数的FGA25N120代换。测量各处阻值无异常后，通电试机。上电自检鸣叫和指示灯均正常。但在试用中发现，确实存在火力不足的情形，即便调控至2000W满功率输出，火力仍然显得有气无力，烧一茶缸不足2斤装的生水竟然耗费10多分钟，而且对锅具很挑剔，放上稍微小些的不锈钢杯（在其他电磁炉上可正常使用）时，偶尔还会出现“E1”（无锅）错误代码提示，甚至有些时候还会出现加热指示灯与“E1”代码有规律交替闪烁的现象。

依据故障现象认为，既然能加热，并且调控操作及显示均正常，说明控制设定电路及IGBT管加热电路应该无恙。加热效率低下以及挑剔锅具的现象，应该是线圈盘两端并联的0.27μF/1200V谐振电容（见图1）失效所致。将其焊下，用数字电容表测量，显示仅有0.03μF，说明容量消失殆尽。谐振电容在工作中需要承受800V以上的直流电压，且会发热，所以极易发生容量减退和失容、失效等故障。因此，要选择介质损耗低、频率特性好、电感小且自愈性好的MKPH 0.30μF/1200V DC电容（见图2）更换。更换此电容后，试机火力强劲，效果非常满意。曾经对市售的MKPH、BM以及其他类型的谐振电容做过容量测量，数据证实新品容量普遍偏低，如标注0.27μF和0.30μF分别显示0.254μF和0.283μF，也就是说，若维修中更换新品谐振电容，完全可以选择略大于原值的电容更换。

另外，维修多台其他型号电磁炉，发现如果IGBT管击穿，最好连同谐振电容也一并更换新品，既保证维修质量，又可避免IGBT管因故而再遭厄运。同时，还要着重测试一下IGBT管c极支路中的两个精密串联取样电阻（见图3）是否变值。在大多数电磁炉电路中，这两个电阻均采用2W五环色标电阻，常见阻值有130kΩ、210kΩ和270kΩ等。从维修经验得知，这两个电阻串接在高压、大电流且高频和高温环境中，阻值增大情况并不鲜见，是不检锅、误报警、显示故障代码和无功率输出等主要故障根源。

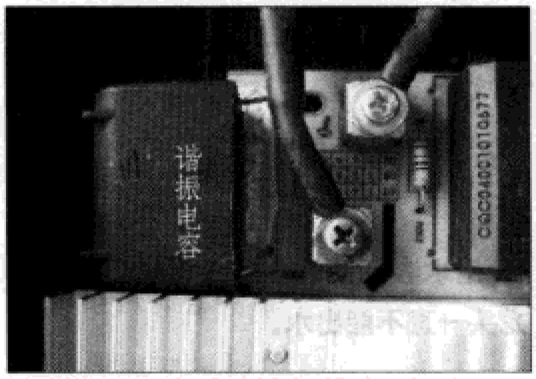


图1 谐振电容的位置

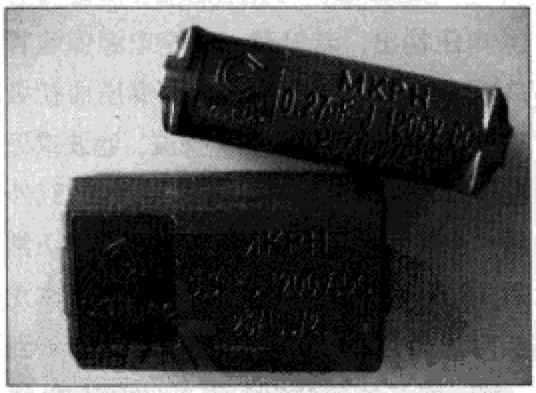


图2 谐振电容的外形图

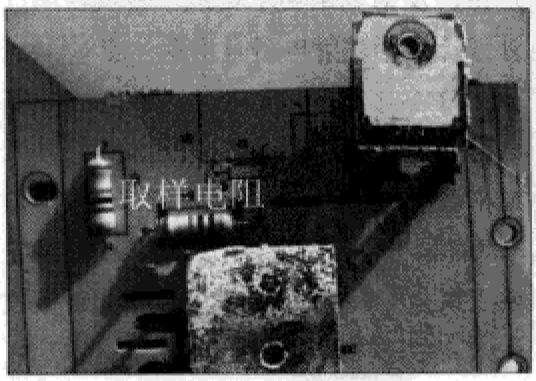


图3 取样电阻的位置

C8后试机。上述故障立即排除。

例4 晚间照明灯EL不能点亮。

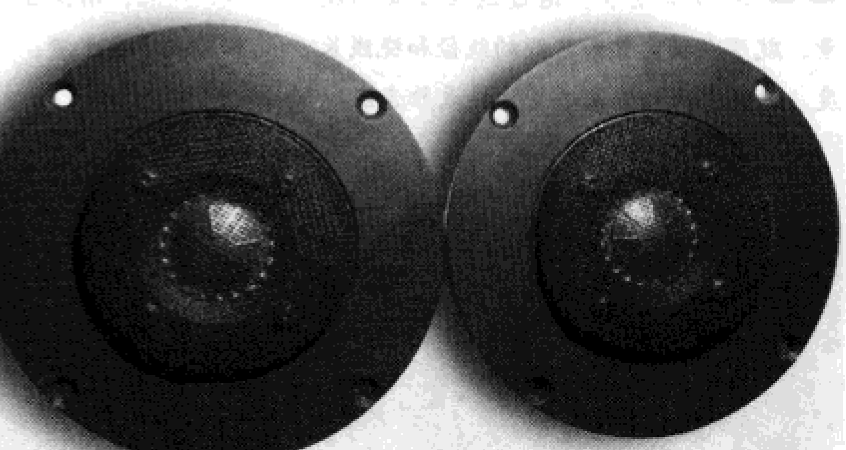
经查，控制管VT3基极为低电平，显然，故障在控制电路。再查反相器D6输入端（即IC2的3脚）一直是高电平。测量R12、C9均未发现异常，接下来查得反相器D5输入端（即IC2的1脚）一直是低电平。表明故障点应在D5输入电路。最后终于查出是RP2滑动触头开路。更换后试机，照明灯在夜晚终于能点亮。

例5 照明灯EL点亮后，不能延时熄灭。

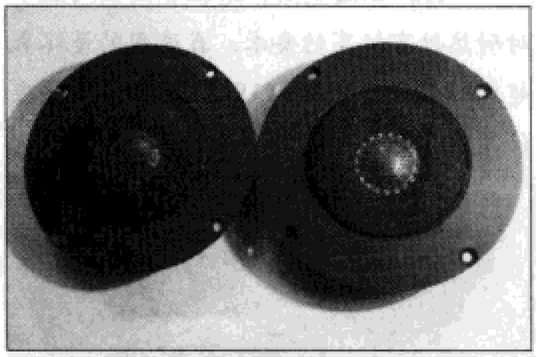
由上述故障分析可知，该故障应在灯光点亮延时电路。于是对放电二极管VD3、延时电阻R12及延时电容C9进行检查，果然查出C9已严重失容。当更换C9后再开机，上述故障已不再出现。

修复一对JBL钛膜高频扬声器单元

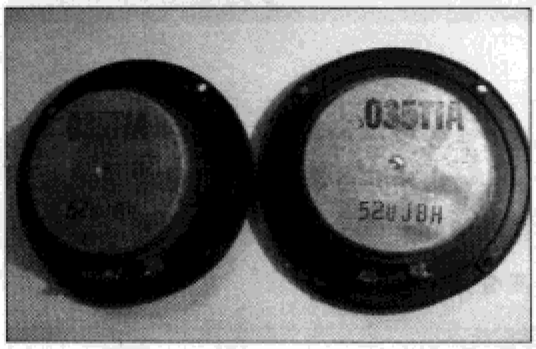
◇倪文贤



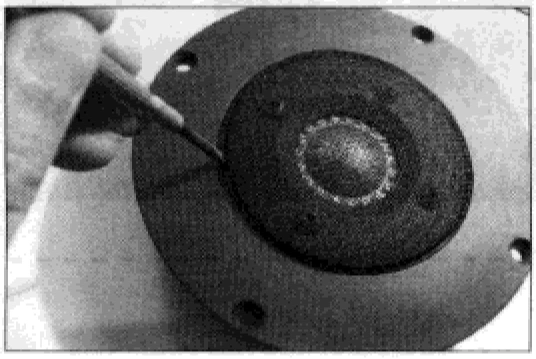
01 朋友的一对 JBL 钛膜高频扬声器单元出现无声故障，拿到我这里来求助。



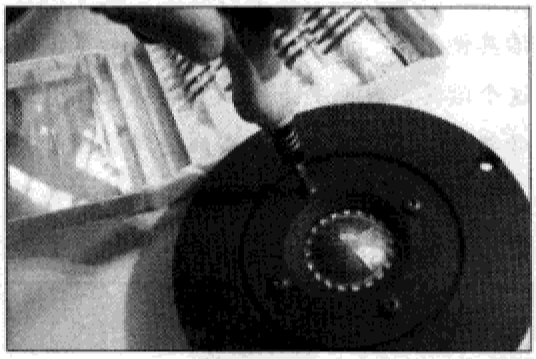
02 这对高频扬声器单元是用在JBL TI系列、L系列上的。



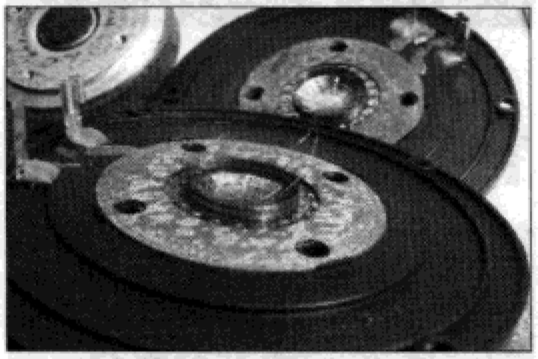
03 拆卸检查，查找原因，先拆开防护网罩。



04 卸下防护网罩，继续卸下固定面板的螺丝。

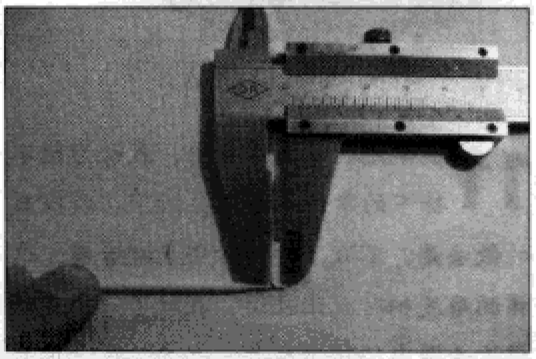


05 看到了音圈，找到了原因：两个音圈的绕线全部散架，并且一个音圈的部分线已经断掉，这对单元修复起来会比较烦琐一些。

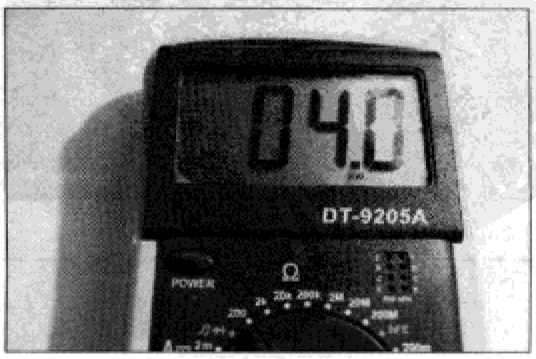


06 要尽量地复原音圈绕线，必须先精确测量相关的数据。首先根据原音圈上胶水的痕迹，用一根牙签来量音圈的绕卷高度，用笔在牙签上做一个标记。

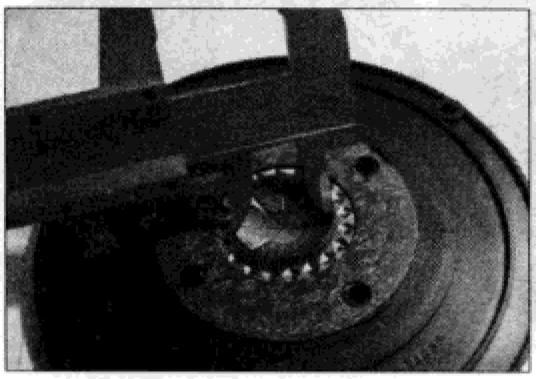
07 用游标卡尺量牙签上刻度的高度，得到原音圈的绕卷高度为3mm左右。



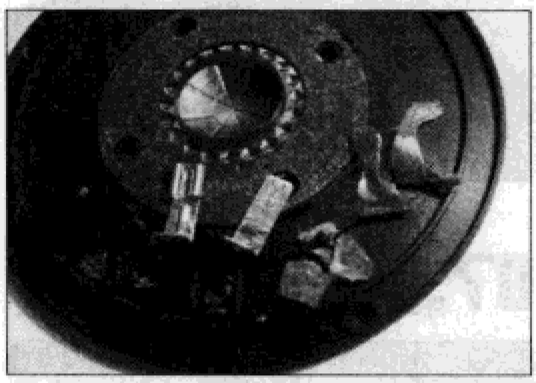
08 然后把一个未断线的音圈线全部取下，拉直，用万用表测线两头的直流电阻，得到4Ω。去掉万用表的固有电阻，得到原音圈的直流电阻为3.4Ω左右。



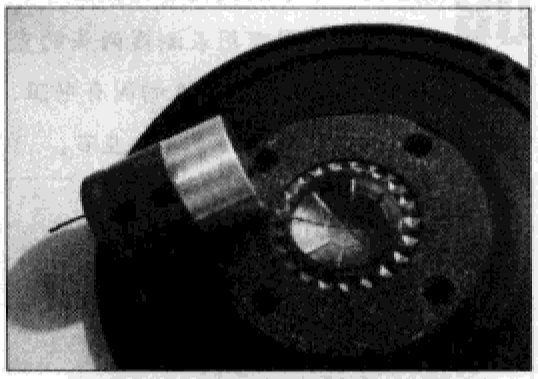
09 再测量音圈的内径，得到的尺寸是24.5mm左右。通过这些必要的测量，就可以确定重新绕线的线径和绕线长度，使绕出来的音圈尽量地接近原音圈。



10 这对单元的生产年代比较久远了，胶水已老化，就顺便把固定接线柱的胶都剥下来，准备换新的。

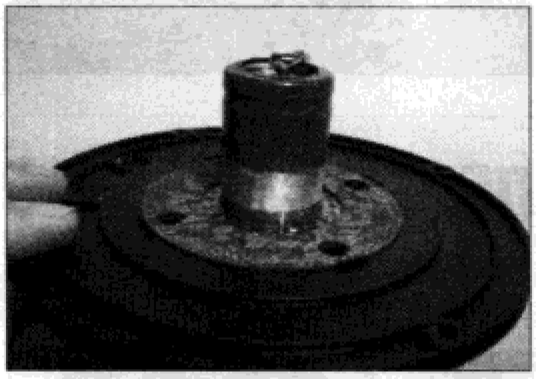


11 在单元的修复过程中，我认为能不拆下的零件尽量不要拆下。所以我的做法是，不取下音圈骨架来绕音圈，这样的难度相对就比较大。我找了一个直径接近音圈内径的电容器，剥掉外皮，用来作绕音圈的治具。

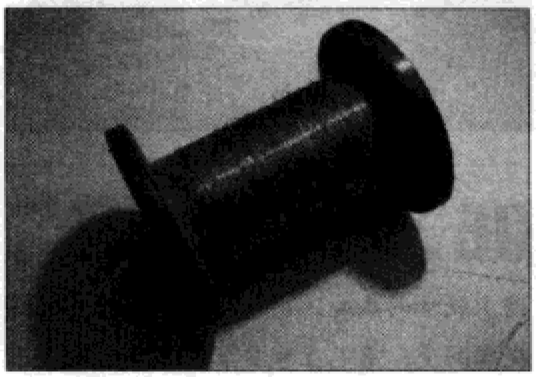


12 电容器的外径还是稍稍大了一点点，用铁锉刀细细地锉掉一圈，用细砂皮打磨平滑。

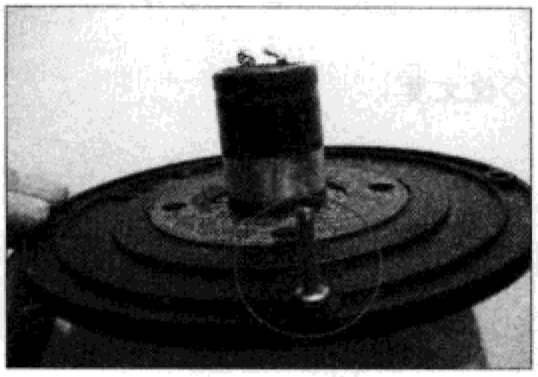
13 把电容器放入音圈内径中，要达到不太松也不太紧的程度，就可以当治具使用了。这个治具的作用：如果没有这个治具，就要将音圈线直接绕制到音圈骨架上，这样缠绕的音圈线会对音圈骨架产生很大的压力，音圈的骨架就很容易变形。音圈若失了圆就没法放入磁隙中了。



14 根据之前测量得到的数据，选定漆包线的线径为0.13mm。



15 胶水未干时，线会移动的，所以得在音圈骨架边上准备一个固定点，我拧上了一颗长螺丝，在绕线的过程中用来固定一头的线（圆圈的位置）。

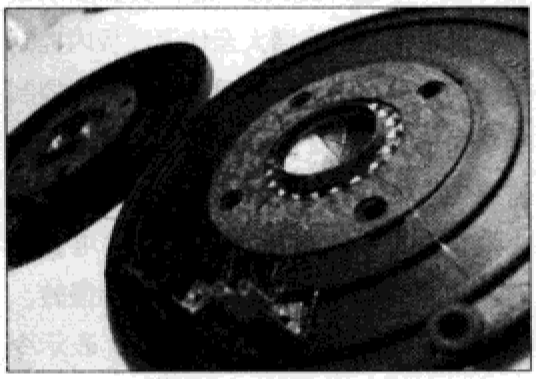


16 音圈工作时会发热，输入功率越大，音圈越热。涂在音圈上的胶水对耐热性有较高的要求，我选用的是环氧超能AB胶，可以耐温190℃左右，足够应付高频音圈的日常工作温度。

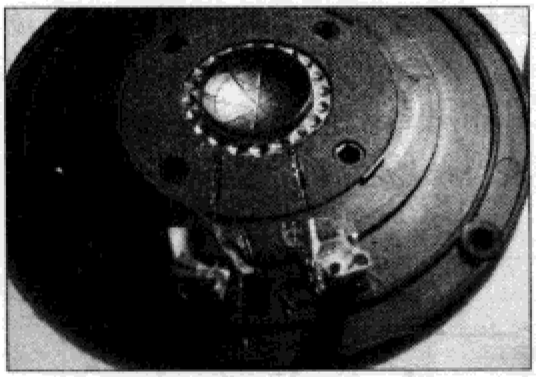
17 把两组胶水按2:1比例均匀混合，用牙签蘸着胶水涂到音圈骨架上，这个步骤要非常仔细，不能把胶水涂到音圈骨架以外。

18 把漆包线的一头固定在螺丝上，绷紧后开始在音圈骨架上绕线。这是最关键的一步，一圈一圈仔仔细细地绕线，每一圈都不能马虎。线与线之间要尽量排列紧密，绕完一层后，在漆包线表面涂一圈胶再绕第二层。两层绕完，把线头绷紧固定在螺丝上，放置24小时，等待胶水固化。

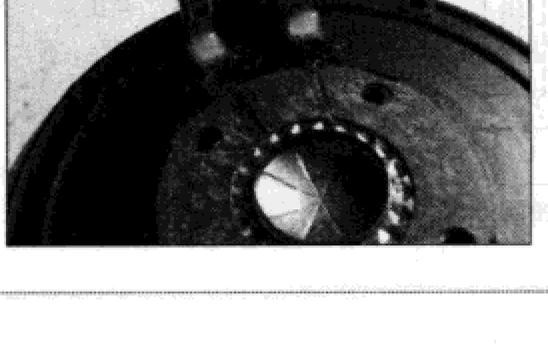
19 24小时后胶水完全固化，两个音圈的重新制作就完成了。



20 在红圈处开了两条小槽，把线放入槽内，用胶水封住。

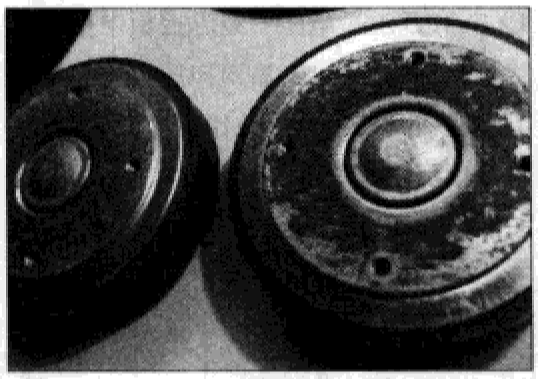


21 把音圈的引出线与接线柱焊接上，把接线柱与面板重新粘合在一起。

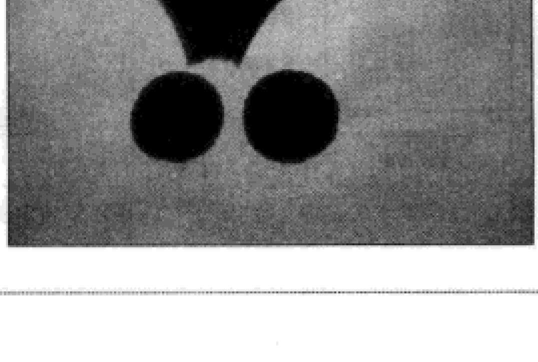


22 磁路的中心T铁上粘有一圈海绵，因为出厂时间比较长，海绵都烂了，用手一碰就掉下来。

23 干脆把海绵全部都弄干净。

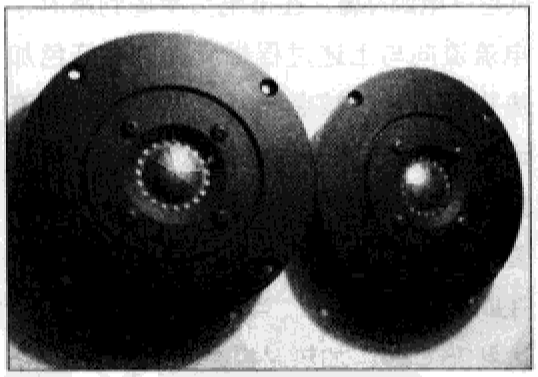


24 找了厚度合适的海绵，用剪刀修剪出大小差不多的形状。



25 重新粘上新海绵，再用个几年都没有问题了。

26 装回面板。



27 装上防护网罩，一对高频单元修复就完成了。㊙

◇王绍华

家庭常用饮水机原理与维修

编者按：饮水机是电路结构相对简单的小家电，如果出现问题，稍有点电路基础的朋友就可以自行维修，本文以安吉尔JD－26T型饮水机为例，并针对饮水机的使用原理和维修给大家提供一些小窍门。

工作原理

安吉尔JD－26T型冰热饮水机的结构见图1，电路原理图见图2。由电路原理图可知，此款饮水机主要由制热电路、制冷电路和温控板电路三部分组成。

1．制热电路：接通市电后，若按下制热开关S1，此时，由于加热温控器ST1和防干烧温控器ST2均处于接通状态，故加热电路被接通，500W电热管对热罐中的水进行加热。其电流通路为：在市电正半周到来时，电源L端→保险管FU1→加热开关S1→加热温控器ST1→发热管EH→防干烧温控器ST2→保险管FU2→电源N端，在市电负半周到来时，电流流向与上述过程相反。这时红色加热指示灯VD3被点亮（VD3点亮的电流通道是电源N端→保险管FU2→防干烧温控器ST2→整流二极管VD4→发光二极管VD3→R1→ST1→S1→保险管FU1→电源L端）。当热罐中水温达到95℃时，加热温控器ST1自动断开（注：ST1安装在热罐底部外侧，当热罐内部水温达95℃时，热罐底部外侧温度达到87℃），加热电路停止加热，加热指示灯VD3熄灭，而橙色保温指示灯VD2被点亮（VD2点亮的电流通道是：电源L端→保险管FU1→加热开关S1→整流二极管VD1→发光二极管VD2→R1→EH→ST2→FU2→电源N端），表示电路处于保温状态。当取用热水或因自然降温使热罐中水温降至85℃时，ST1重新闭合，于是加热电路再次接通，加热管重新发热……如此循环，因此热罐中的水温将保持在85～95℃。当热罐中无水，使热罐外表面的温度达到95℃时，安装在热罐外侧的防干烧温控器ST2自动切断电源，VD2、VD3指示灯均熄灭，EH停止加热，以免发生事故。需说明的是，ST2动作后，不能自动复位，需要手动复位，加热电路才能重新工作。

2．制冷电路：在接通市电后，若按下制冷开关S2，220V市电经电源变压器T降压后向温控板（由于温控板为模块结构，故这部分电路未能画出）输出两组双12.5V和双3.8V电压。经温控板中整流电路整流后输出的12V直流电压，向半导体制冷片PN和散热风机M供电。此时绿色制冷指示灯VD5点亮，半导体制冷片PN处于强制冷状态。散热风机M快速转动为半导体制冷片PN散热，以加强制冷效果。当冷胆中水温降至约5℃时，负温度系数热敏电阻的阻值将增大至使温控板内控制电路动作的阻值。于是温控板上电源控制电路关断12V直流输出，而接通直流3.8V（温控板中有3.8V整流电路）电压继续为半导体制冷片PN和散热风机M供电。此时，PN变为弱制冷状态，M也变为慢转，橙色制冷保温指示灯VD6被点亮，表示冷胆冰水进入保温状态。当饮用冰水或因热传导等因素使冷胆中冰水温度升至15℃时，热敏电阻的阻值将减小至使温控板内控制电路动作的阻值。于是温控板上电源控制电路关断3.8V直流输出，而接通直流12V电压，继续为半导体制冷片PN和散热风机M供电。此时，PN又变为强制冷状态，M也变为快转，橙色制冷保温指示灯

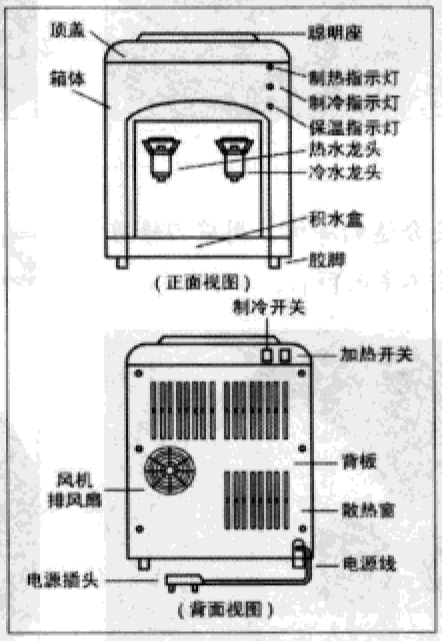


图1 安吉尔JD－26T饮水机结构

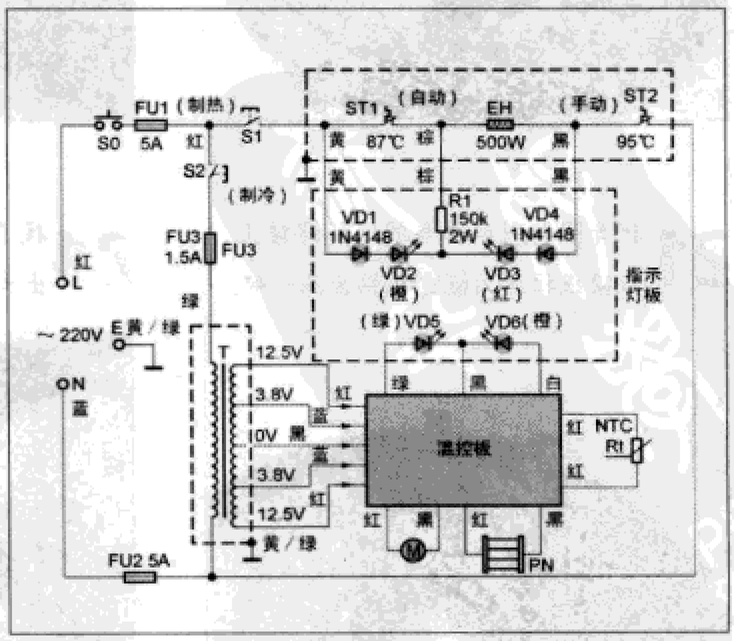


图2 安吉尔JD－26T饮水机电路原理

◇季成荣

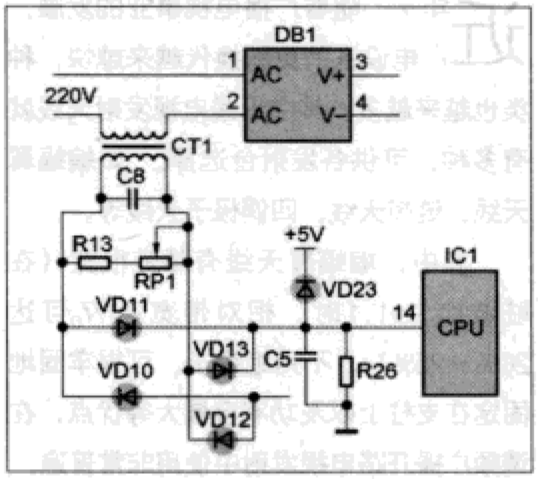
美的电磁炉加热温度低故障检修一例

一台美的MC-PY18B型电磁炉能加热，但加热温度不高且功率不可调。

电磁炉出现这种故障主要是由于整机工作电流过大，或者是由于过流保护电路本身故障引起。

本机过流保护电路主要是由IC1(CPU)、CT1、VD10~VD13、VD23、C5、R26等元件组成，相关电路图见附图。首先接通电源，在待机状态下测得IC1的14脚电压为5V（正常为1.2V），由此可说明电磁炉的过流保护电路本身已损坏。然后测量CT1次级电压为0.5V，而VD23的正极电压为5V（正常应为1.2V）。关机对VD11、VD13、VD23、C5等元件进行检查，发现仅VD23损坏。更换之，故障排除。

小结：该机由于VD23短路引起过流保护电路工作异常，使电磁炉输出功率偏低且不可调，造成加热温度偏低。



VD6熄灭，而绿色制冷指示灯VD5又被点亮…… 如此循环。因此冷胆中的水温将恒定在5~15℃。

常见故障检修

1. 工作指示灯不亮，整机不工作

该故障是电源未通所致，应先查电源插头、插座是否锈蚀氧化，总电源开关S0是否良好。若确认交流电输入正常，则可能是保险管FU1或FU2已熔断，可按同规格予以更换。

2. 按下制热开关S1，加热指示灯亮，但不能制热

该故障说明电源已接通，导致此故障可能的原因有：（1）电热管两端接插件严重烧蚀氧化，造成电路不通。此时可用细砂纸打磨掉氧化物，再用钳子将插座孔夹扁少许再插回原处，若损坏严重，则需更换新品。（2）电热管烧断。可用万用表测量电热管直流电阻，正常值约为97Ω，若为∞，则说明已烧断，应更换新品。在换电热管时，一定注意不要损坏硅橡胶密封圈，更换完电热管后，要往热罐中注入水，确认无渗水现象后才能通电使用。

3. 不能制冷，制冷指示灯也不亮

导致该故障可能的原因有：(1)制冷电路保险管FU3熔断。若是，按同规格更换即可。(2)电源变压器初级线圈开路或短路。可断开次级12.5V和3.8V输出端，再测输出电压是否正常来确认。若是，只能重绕或换新变压器。(3)温控板损坏。在变压器输出电压正常的情况下，测量风机M和半导体制冷片PN两端是否有12V电压，若没有，只能更换温控板。

4. 不能制冷，但制冷指示灯能点亮

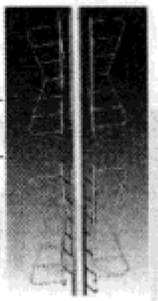
制冷指示灯亮，说明温控板输出直流电压正常。可拆开背板，目测风机运转是否正常，测量半导体制冷片两端的12V电压是否正常。若正常，可用手摸制冷片上的散热器是否有温升感觉，若没有，则可判断是电子制冷片内部开路。可拧松制冷片引线接头螺钉，拔出引线，用万用表测量制冷片直流电阻。正常情况下，制冷片的正反向电阻均为2~3Ω，若为0Ω或∞，则说明制冷片已损坏，需更换。值得提醒的是，在更换制冷片时，制冷片的冷面和引线极性必须正确，否则，制冷将变成制热。

5. 按压或抬起水龙头开关时不能出水

此故障是水龙头胶塞卡位破裂，卡不住转动轴，从而打不开出水口所致，更换胶塞即可出水。

6. 机内漏水

机内漏水通常是进水或出水胶管龟裂或接头松动所致。可拆开箱体细心观察，找出龟裂的胶管，然后更换新管即可。对于松动的接头可以剪断一小段，然后将剩余胶管重新插好，再用尼龙扎带扎牢接头，漏水故障一般可排除。



◇张涛

电视蝙蝠翼天线的改进

近年来，随着广播电视事业的发展，广电设备的更新换代越来越快，种类也越来越多，其中无线电视发射天线就有多种，可供各发射台选择。如蝙蝠翼天线、缝隙天线、四偶极子天线等。

其中，蝙蝠翼天线有频带很宽（在驻波比$S\leq1.1$时，相对带宽$\Delta f/f_0$可达20%~25%）、不用绝缘子、可很牢固地固定在支柱上以及功率容量大等优点，在调频广播开路电视发射中使用非常普遍。

现在我台（安徽广播电视台安庆发射台）发射机的发射天线使用的就是四层四面蝙蝠翼天线。这副天线使用至今已有30多年了，再加上我台是高山（海拔700m）台，导致该天馈系统中已有多根分支电缆头、外皮破损，馈电头及跳接片也被雨水腐蚀，使得天馈系统的驻波比达到1.4以上，已严重影响到电视节目的发射覆盖。

去年我们决定对这套系统进行更新改造，订购了分支电缆、变阻器、馈电头和跳接片。在此，特将改进的相关工作总结成文，希望对读者有帮助。

蝙蝠翼天线的技术性能

两对蝙蝠翼天线振子互相垂直作为一层，包围式地固定安装在圆柱桅杆上。多层蝙蝠可加装在桅杆上，这个特点使得它的电波传播在水平面上没有方向性，便于用户接收，这也就成了它的优点，从而得到广泛应用。多层蝙蝠翼天线在水平面内的场型图与单层的基本相同，近似为一个圆，辐射场具有水平极化。

蝙蝠翼天线的馈电要求

为了保证水平面场型是个圆，必须采用旋转场式馈电，要求每层天线各个振子馈电相位以90°相位差按顺时针（或逆时针）方向顺序馈电，即相邻两翼相位差为90°，相对的两翼间相位差为180°。

1. 90°的相位差的获得。可在分馈线中加一段$\lambda/4$的馈线来实现。即一侧翼振子的分馈线长度$N\lambda_e/2$（λ_e为考虑介质缩短时的波长，N为整数倍），相邻的另一侧翼振子的分馈线长度为$N\lambda_e/2+\lambda_e/4$，两者长度之差为$\lambda_e/4$，便获得90°相位差。

2. 180°相位差的获得。为了获得180°的相位差，可采用反接的馈电方法。特点是：一侧翼的分馈线沿桅杆本体敷设，在靠近振子中心的位置，经馈电头对振子正向馈电（芯线通过跳接片接振子，外皮接支柱）。另一侧则相反，分馈线从振子与桅杆的短路处离开桅杆，沿振子主撑敷设，在振子中心处对振子负向馈电（外皮接振子，芯线通过跳接片接支柱）。这样，如果分馈线长度相等，则对称两翼的馈电相反，便获得180°的相位差。我所在发射台原来的天线就是采用这种方式。

与反接的馈电方法相反的是正接馈电方法，这种馈电方法的特点是由两根分馈线的长度差$\lambda_e/2$，并都采用正向馈电来获得的。即一侧分馈线长度为$N\lambda_e/2$，另一侧馈线的长度为$N\lambda_e/2+\lambda_e/2$。

对这两种方法进行比较可知：

在反接馈电方法中，顺着主撑敷设的分馈线往往贴合不紧，外皮和主撑间存在电位差，匹配不良会加剧局部发热，日积月累会产生粘连现象，分馈线电缆塑胶护套融化，与振子粘连，也可能与桅杆粘连，继而粘连处绝缘物软化、变形，直至短路。

如果馈电方式中既有正馈，又有负馈，在安装操作和以后的检修中会带来不便，而全部采用正馈方式馈电，就会方便得多。

通过以上比较，我们决定在对该天线进行改造时，将以前的馈电方式也改成正接馈电方法。

改造安装

1. 首先从天线厂家订购了16个变阻器、馈电头、跳接片和4组分馈线（每组4根A、B、C、D，它们的长度依次递减$\lambda/4$（1CH中心波长$\lambda_0\approx5.714$m，λ_e为考虑介质缩短时的波长$\approx0.66\lambda_0\approx3.77$m，$\lambda_e/4\approx0.943$m）。分馈线的基本长度要严格地等于$\lambda_e/2$的整数倍。

2. 固定好变阻器，与主馈要连接好，并做好防水处理。

3. 全部按照正馈方式安装好馈电头和跳接片。

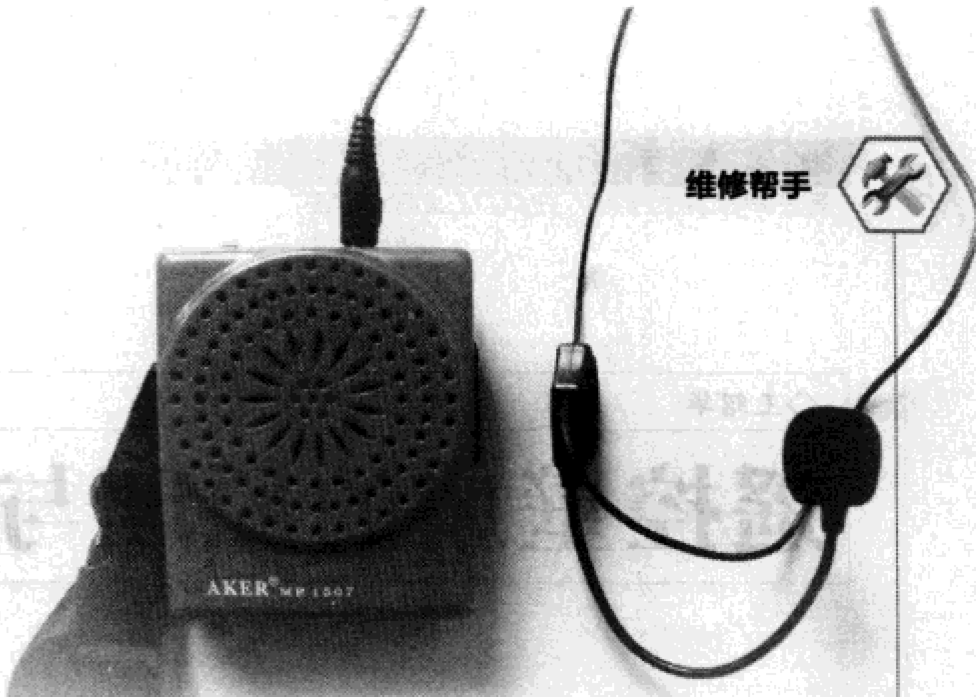
4. 将每组4根按A、B、C、D顺序接在同一层的东南西北的4个振子上。

天线完全安装好后，用扫频仪测整个天馈系统的驻波比VSWR=1.10，非常理想。

通过这种改造可知，用不同的连接方法都可以获得旋转场馈电。不同的馈电方法对天线的总体指标影响不大，只要把每对天线的指标调试好，总体调试就比较容易。

到此，整个天馈系统改造完成，驻波值比较理想，改造前后的场强测试结果比较如下：

改造前	太湖60dB	怀宁66dB
改造后	太湖62dB	怀宁68dB



◇梁明义

小型腰包式扩音机故障维修一例

小型腰包式扩音机因其轻巧、方便、实用，深受教师们的欢迎，现已广泛使用于课堂教学中。下面根据它日常使用中出现的一次故障维修做简要介绍。

接修一台教师上课用AKER（爱课）牌MR1507型腰包式扩音机。故障现象为：音量控制开关（ON/OFF）旋转幅度较小时，MIC输入能断断续续扩音，音量控制开关旋转幅度较大时，扬声器无声，轻触MIC拾音头，扬声器能发出较大“咔咔”声，将其替换到正常腰包式扩音机盒上，扩音正常。初步判断为“ON/OFF”音量旋钮开关内部氧化导致接触不良，或扩音机盒里音频放大线路故障所致。

拆开扩音机盒，分离内部主要元器件，如图1所示。仔细观察主板上所有元件引脚及扬声器接口等无脱焊后，用无水酒精清洗“ON/OFF”音量旋钮开关，故障无变化。打开音量开关，测量电源供电转换VT5（78L05）输入端电压为8.8V，输出端为5.0V，正常。又在路测量双声道音频功率放大集成块TEA2025B的16脚供电电压，正常（3～12V），其各引脚功能如图2所示。为进一步确定故障所在，从电脑主机引入音频信号至LINE插口，扩音仍然断断续续，且严重失真。正准备替换音频功放块TEA2025B时，无意间碰触了扬声器接口，音乐瞬间正常，但又立即消失了。再次仔细观察扬声器线接口焊点光滑，无脱焊，这时才意识到碰触了扬声器线接口——其实是连带触及了扬声器罩内部的铜丝引线（如图3所示）。果然，用手指轻轻弹压铜丝引线至一定位置，音乐短时间恢复正常。因该类型扬声器修复困难，遂用同尺寸4Ω/1W扬声器替换，故障彻底排除。

小结：教师上课使用腰包式扩音机时，因佩戴位置不正（应垂直挂在腰部，扬声器口朝前），导致扬声器口与MIC拾音头相对，长时间呈半自激状态，最终损坏扬声器。

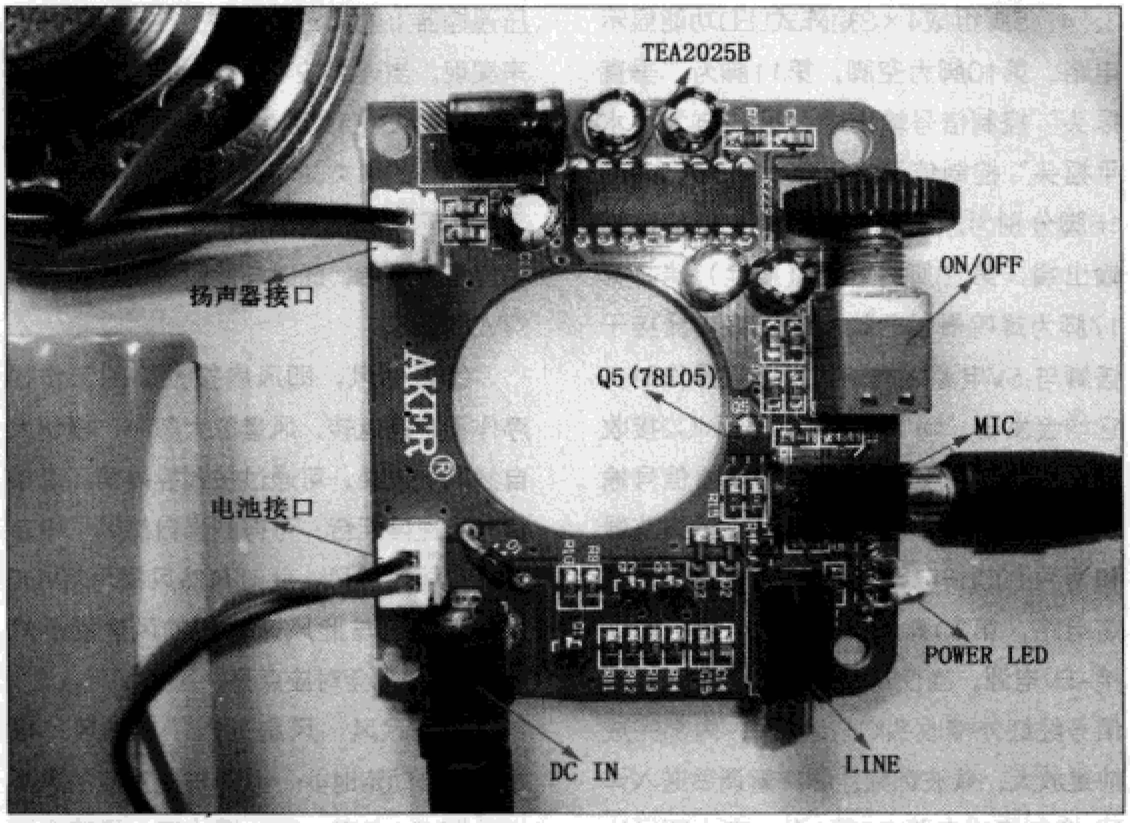


图1 对扩音机盒进行拆机检查

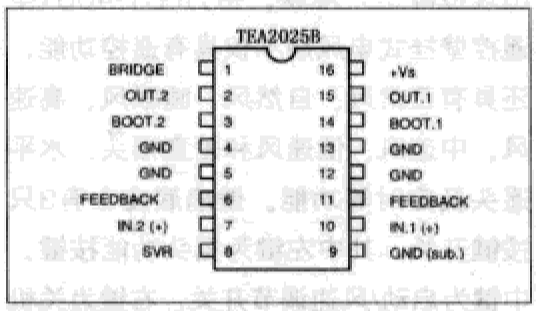


图2 音频功率放大集成块

图3 扬声器

◇王绍华

遥控壁扇的原理与维修

遥控壁扇作为常见的家用电器，出现故障在所难免，本文以格力FB1-40B1型遥控壁挂式电风扇为例，为大家详细介绍一下如何应对生活中遥控壁扇出现故障这一难题。格力FB1-40B1型遥控壁挂式电风扇不仅具有遥控功能，还具有正常风、自然风、睡眠风、高速风、中速风、低速风和垂直摇头、水平遥头及定时等功能。壁扇底座上有3只按键开关，其中左键为摇头功能按键，中键为启动/风速调节开关，右键为关机键。壁扇底座上设有12只LED功能显示灯，其中左边6只分别显示垂直摇头、水平摇头和4、2、1、0.5h四挡累计定时（最大定时7.5h）功能，右边6只分别显示正常风、自然风、睡眠风、高速风、中速风、低速风功能。下面简要介绍这款遥控壁扇的工作原理与常见故障检修方法。

工作原理

1. 遥控发射电路

该型遥控壁扇的遥控发射器采用的编码集成电路为BA5104，其电路见图1。其中K1～K8为功能输入端，K6～K8未使用，S1～S5分别是关机、启动/风速、风类、定时、摇头按键，在遥控器上从上至下排列。BA5104第1、2脚（D1、D2）为用户编码输入端，本型遥控器选择为00状态。按下S1～S5任一键时，BA5104第15脚将有串行信号输出，经VT1、VT2放大后驱动红外发射管VD发射38MHz的红外载波脉冲号。

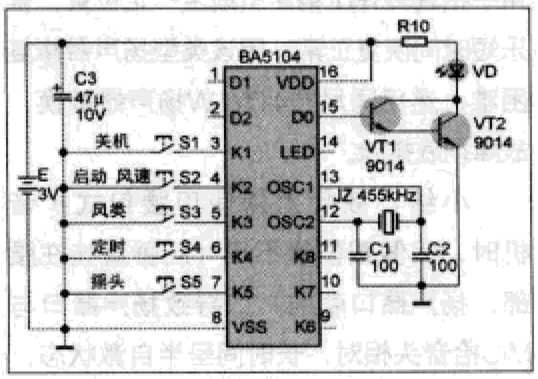


图1 格力FB1-40B1电扇遥控器电路图

2. 遥控接收控制电路

该型遥控壁扇的遥控接收控制电路见图2，整个线路简捷、可靠、实用。遥控接收头中的集成电路型号为BA5302，遥控译码/控制集成电路为BA8204BA4。其第1脚为遥控信号输入端，第2、3、4、5、9脚为控制信号输入端。不过该型遥控壁扇只用了第2、4、9脚，对应风扇座上的“关机”键、“启动/风速”键及“摇头”键的信号输入端。IC2的6、7、8脚为显示LED灯的公共端，与第2、3、4、5脚组成4×3矩阵式LED功能显示电路。第10脚为空脚，第11脚为“垂直摇头”控制信号输出端，第12脚为“水平摇头”控制信号输出端，第13、14、15脚分别为风扇电机高、中、低速控制输出端，第16脚为VDD（接地）端，第17脚为蜂鸣器信号输出端，蜂鸣器接于该脚与-5V电源之间，每次按键操作时，它均会发出“嘀”的响声，表示IC2接收成功，第18、19脚为晶体振荡器信号输入、输出端，外接的455kHz晶体振荡器和两只100pF电容与内电路构成时钟振荡电路，第20脚为VSS（负电源）端，接-5V电源。当使用遥控器控制时，红外信号经红外接收头IC1接收后，内部完成前置放大、载波选频、脉冲解调后送入译码/控制集成电路IC2第1脚，在内部经比较、解码后由第11～15脚输出相应的控制信号，控制风扇电机或摇头同步电机工作，同时通过4×3矩阵式LED功能显示电路显示电风扇当前所处的工作状态。下面再介绍各控制键的相关控制功能：

（1）“关机”键：当按下壁扇底座上的右键或遥控器上的第一个按键时，可停止风扇运转，控制电路恢复到静态。同时记忆电扇关机前的运行模式，下次启动时就直接工作于该模式，从而省去了每次开机后预选的麻烦（定时和睡眠不会记忆）。

（2）“启动/风速”键：壁扇底座上的中间键或遥控器上的第二个按键，若风扇当时处于静止状态时，按下此键风扇以中速启动，3s后回到“弱风”状态或回到所记忆的上次关机前的运行状态。当风扇处于运行状态时，连续按此键可得到按“弱、中、强、弱…”规律循环的风速。

（3）“风类”键：“风类”只能通过按压遥控器上的第三个（从上往下数）按键来实现。当连续按下该键时，可依次得到按“正常风、自然风、睡眠风、正常风…”规律循环的风类。

①正常风：风扇按设定的强、中、弱风速恒定运转，此时与此对应的风类指示灯VD2点亮。

②自然风：即风扇按预编的工作程序作不定速运转。风量忽大忽小，模仿大自然风吹效果。可通过按遥控器第三个按键与风速键配合，可得到强自然风、中自然风、弱自然风。此时自然风指示灯VD6点亮，同时与此风速对应的风速指示灯VD3～VD5也会对应点亮。

③睡眠风：风扇进入“自然风”模式，并自动定时4h，此时与此对应的风类指示灯VD1点亮。在此模式下，风速会顺

应人体入睡后体温慢慢下降的规律，每经0.5h自动降低一挡风速，即强自然风运转0.5h后，再变为中自然风运转0.5h，然后再变为弱自然风运转，直到定时结束或人为关机。在电扇运转期间，与此风速对应的风速指示灯VD3～VD5也会对应点亮。

(4)“定时键”：“定时”功能也只能通过遥控器的第四个按键来操作。当第一次按下该键时，定时0.5h，此时定时指示灯VD10点亮；当第二次按下该键时，定时1.5h，此时定时指示灯VD9、VD10同时点亮；当第三次按下该键时，定时3.5h，此时定时指示灯VD8、VD9、VD10同时点亮；当第四次按下该键时，定时7.5h，此时定时指示灯VD7、VD8、VD9、VD10全都点亮；当第五次按下该键时，表示取消定时，此时定时指示灯VD7、VD8、VD9、VD10全部熄灭，风扇会一直工作到人工关机为止；当第六次按下该键时，又表示定时0.5h…… 如此循环。在风扇定时运转期间，点亮的定时指示灯会随时间减少逐个熄灭，以清楚显示定时剩余时间。

(5)“摇头”键：“摇头”功能可通过风扇底座的第四个按键或遥控器上第五个按键来实现。当第一次按下该键时，风扇执行左右水平摇头，水平摇头指示灯VD11同时点亮；当第二次按下该键时，风扇执行上下垂直摇头，垂直摇头指示灯VD12同时点亮；当第三次按下该键时，风扇执行上下、左右组合摇头，即呈“∞”形摇头，此时，垂直、水平摇头指示灯VD12、VD11同时点亮；当第四次按下该键时，风扇停止摇头，摇头指示灯均熄灭；当第五次按下该键时，风扇又执行左右水平摇头…… 如此循环。

故障检修

该型电风扇的故障主要有：

1. 通电后电扇不转，指示灯也不亮。导致该故障的常见原因有：

(1)电源插头与电源插座接触不良。若是电源插座原因，应予换新。(2)电源保险管熔断。在查出故障原因后，再更换同规格保险管。(3)4只100Ω/1W限流电阻烧毁。用同规格电阻予以更换。(4)降压电容C1(1.2μ/400V)损坏。可用同规格电容予以更换。(5)相关滤波电容C2～C4或稳压二极管ZD击穿。查出损坏件，然后更换。(6)晶体振荡器(455kHz)损坏。应用替换法(用好的部件去代替可能有故障的部件，以判断故障现象是否消失的一种维修方法)予以检查。(7)壁扇底座上个别按键(如关机键)漏电或短路，使IC2自锁。(8)IC2相关引脚(如供电端、晶振端)焊点出现裂纹。查出后重焊。(9)IC2损坏。应用替换法予以检查。

2. 遥控失灵。导致该故障的常见原因有：

(1)遥控器电池已失效或电池弹簧已生锈，应予检查排除。(2)由于摔打，使遥控器内的455kHz晶体振荡器内部损坏。应用替换法予以检查排除。遥控器是否正常，可将遥控器靠近收音机(收音机应置于中波段)，然后按下遥控器按键，若收音机能发出“嘟，嘟”声，说明遥控器正常，故障应在遥控接收头。(3)遥控接收头损坏。可用替换法予以检查排除。

3. 遥控距离极短。导致该故障的常见原因有：

(1)遥控器电池已快失效。应更换新电池。(2)遥控器内红外发射管VD已老化。可更换试之。(3)遥控器内驱动管VT1、VT2老化(比如β值严重降低)，可检查确认，然后予以排除。(4)遥控接收头内部整形、放大电路不良。可用替换法检查排除。(5)遥控壁扇所处的厅室有已点燃的日光灯形成干扰，这是因为电子镇流器的工作频率与风扇遥控器的工作频率极为相近，会形成干扰。如是这种情况，只有更换新型遥控器和与之对应的接收头。

4. 电扇运行时噪声大。这通常是电机轴承缺润滑油所致。若清洗轴承重新上油后仍有噪声，则说明轴承已严重磨损，在这种情况下，只有更换新轴承或更换新电机。

5. 按“启动/风速”键后，电扇只能以最大风速运行。这通常是双向晶闸管VT1～VT3之一已击穿。可检查确认，然后予以排除。

6. 不能水平或垂直摇头。若对应的摇头指示灯也不亮，则可能是IC2内局部电路损坏。若对应的摇头指示灯亮，则表明是相应的双向晶闸管VT4或VT5出现开路性损坏，应予检查排除。

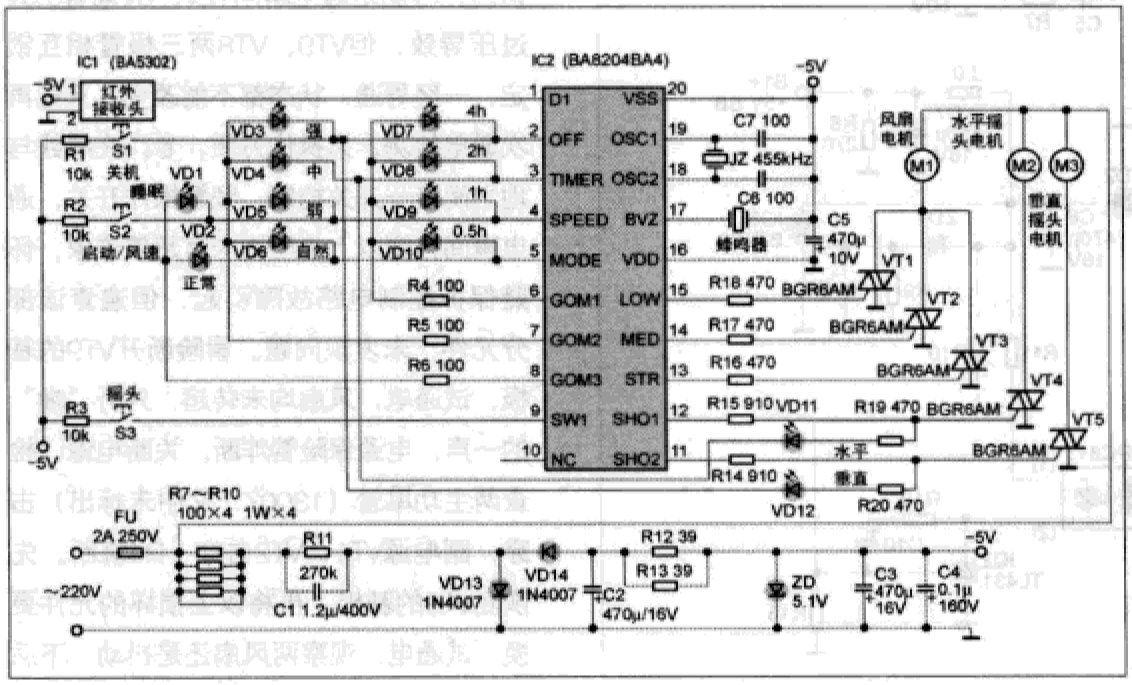


图2 格力FB1-40B1型遥控壁扇主机电路图

◇梁明义

计算机电源综合故障检修

接修一批MATX-145型长城电源。观察该电源盒，尽管陈旧，但体积较小，机箱内电源盒安装处空间也小，其他类型电源均无法替代，因此仍有修复的必要。现将维修过程中遇到的主要问题和大家分享一下。文中电路图1、图2是作者依实物绘制而成。

例1 在启动端（PS-ON）与地短接下通电，电源风扇及负载风扇均不转。测B1（+5VSB）为0V，B2（为KA7500的12脚供电，待机12V）为0V。但测T3的1脚有300V电压，2脚电压却为0V。断电后，测T3 的1、2脚断路，VT1（C3866）、VT2（C1815）击穿，R4（4.7Ω）烧断。观察IC3（BT169）炸裂。将以上故障元件全部更换后（其中T3用拆机件代换），再通电，测B1仍为0V，B2有1.5V左右的电压，且T3位置发出轻微的“嗞嗞”声。断电后再检查其他元件，无果，忽然发现光耦IC1（PC817）未检查。将IC1拆下后用指针式万用表与数字表配合检测，发现其4、3脚之间阻值近乎断路，不再受控而变化。将IC1换新后通电，测B1为5V，B2为12.3V。在12V输出端子处接0.31A/12V负载风扇，绿线接地（见图2），电源自带散热风扇及负载风扇立即起转。再测B2电压升至26V，测其他各路输出电压均正常，电源修复。

究其原因：光耦IC1损坏，导致误差反馈电路异常，通电瞬间，B1（+5VSB）电压过高，ZD1击穿导通（如图1），IC3（BT169）工作保护，副电源呈低频振荡状态，B2亦输出1.5V低电压。

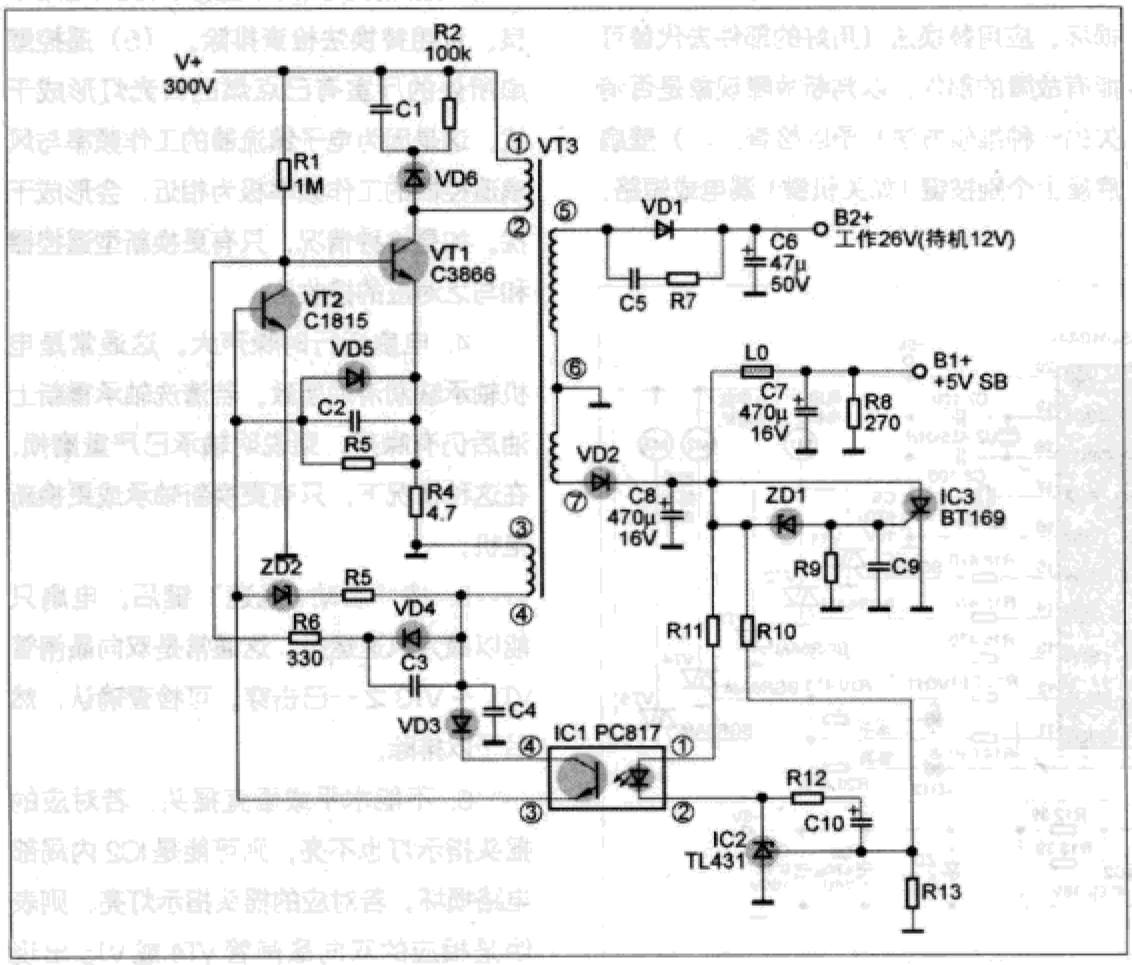


图1 副电源电路图

例2 加电条件下，电源风扇及负载风扇均不转。在绿线未短接下通电，B1、B2均输出0V。测VT1基极无0.6V电压。断电后查出启动电阻R1（1MΩ）断路，更换R1后再通电，B1、B2电压值恢复正常。在12V输出端子处接上负载风扇，绿线接地，两风扇立即转起，再测其他各路输出电压均正常（如图2），电源修复。

例3 故障现象与实例2相同。经排查是副电源故障，排除过程同故障实例1。在12V输出端子处接上负载风扇，绿线接地，两风扇抖动一下后即停（相关电路见图2），测IC7（KA7500）的4脚有4V高电平，电源保护。测保护控制三极管VT9（C1815）基极电压为0.7V，VT8（A1015）集电极输出4.4V高电平。分析认为，可能是通电瞬间12V、5V或者3.3V过压导致，但VT9、VT8两三极管相互锁定，一经导通，状态都不能改变，只能再次通电检测。为操作方便，专门在绿线与地之间接一开关控制。频繁操作开关，通电瞬间检测以上电压均未有超值迹象，怀疑保护控制电路故障引起，但遍查该部分元件，未发现问题。冒险断开VT9的基极，试通电，风扇均未转起，只听“啪”的一声，电源保险管炸断。关断电源，检查两主功率管（13007，文中未标出）击穿，副电源VT1，VT2击穿，R4烧断。先恢复VT9的基极，再将以上损坏的元件更换，试通电，观察两风扇还是抖动一下后即停，终于将故障恢复到原先的状态了。

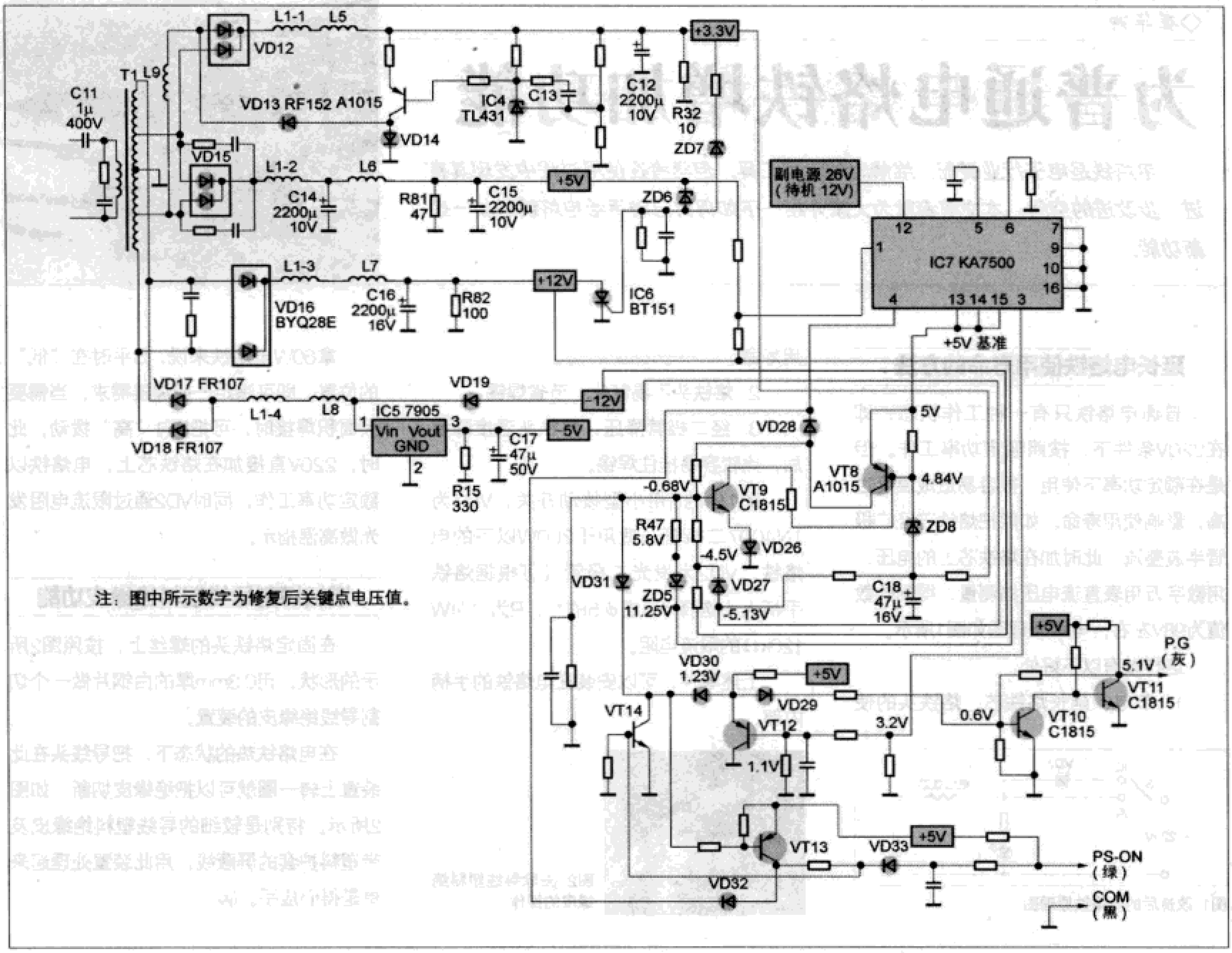
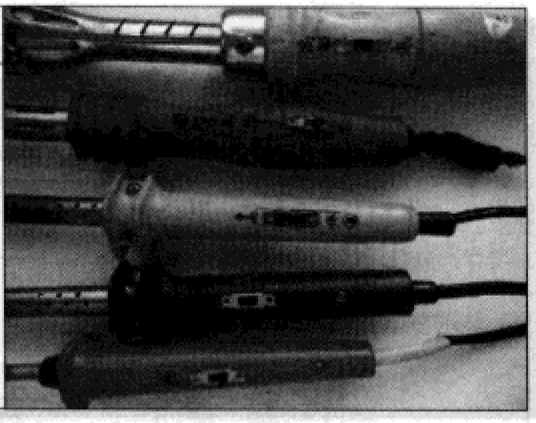


图2 控制部分电路图

虽然有所损失，但也说明开机瞬间有保护电压加至VT9基极，而与VT8无关。分析与VT9基极连接的各支路：首先是12V过压几无可能，因为通电瞬间测12V输出不足1V，反而3.3V输出有2V左右，+5V输出3.5V左右，其次-12V输出-6V左右，-5V输出-3V左右，以上电压均未偏高。综合分析还是12V形成支路有问题，查VD16（BYQ28E）正常，R82（100Ω）阻值正常，决定断开L7以及ZD6、ZD7（以防IC6导通影响其他部分电路），启动电源试试。将风扇负载改接至+5V输出端，绿线接地，负载风扇转起。测+5V电压升至6.7V，-12V电压变为-15.6V，-5V电压及3.3V电压输出值正常。看来问题就出在12V形成支路上。而该支路除滤波电容C16（2200μ/16V）外已无其他元件可查，翻到电源板背面一看，C16也未找到。仔细观察才发现，C16已被前维修员拆掉（估计是最初发现该元件漏液，更换后电源仍未工作，就又拆掉了），元件引脚安装孔也被焊锡覆盖了，因此一时没注意到C16的存在。取一新电容安装在C16处并恢复L7以及ZD6、ZD7，再接通电源，绿线接地，两风扇转起。测其他各路输出电压值均恢复正常（如图2），电源修复。本故障实例小结：因为前维修员不经意拆掉了+12V支路滤波电容C16，绿线接地瞬间，使得经VD16（BYQ28E）整流过的脉动直流电源中含有很强的由逆变功率管输出的高频脉冲成分，通过ZD5、R47送到VT9的基极（ZD5含结电容，高频脉冲可以通过），VT9导通，连带作用VT8导通，集电极输出高电平，最后通过VD28送至IC7（KA7500）的4脚，电源进入了保护状态。

◇崔华卿

为普通电烙铁增加功能



电烙铁是电子行业装配、维修时的常用工具，但笔者在使用过程中发现其有进一步改进的空间。本文笔者就为大家介绍一下如何自己动手给电烙铁增加一些新功能。

延长电烙铁使用寿命的方法

普通电烙铁只有一种工作状态，即在220V条件下，按照额定功率工作。但是在额定功率下使用，很容易造成温度过高，影响使用寿命。如能把烙铁芯经二极管半波整流，此时加在烙铁芯上的电压，用数字万用表直流电压挡测量，得到的数值为98V左右，电路原理图如图1所示。

这样做有以下好处：

1. 节电、延长烙铁芯、烙铁头的使用寿命，

2. 烙铁头不易氧化，节省焊锡，

3. 经二极管降压，烙铁头温度降低后，比较容易挂住焊锡。

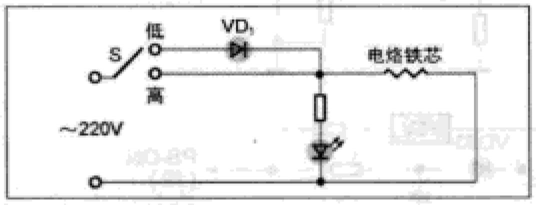


图1 改造后的电烙铁原理图

图1中的S用小型拨动开关，VD1为1N4007二极管，适用于200W以下的电烙铁，VD2为发光二极管（可根据烙铁手柄大小选择φ3或φ5的），R为 1/4W 120kΩ的限流电阻。

上述零件，可以安装在电烙铁的手柄内部。

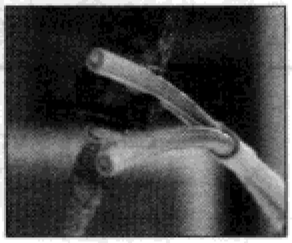


图2 去除导线塑料绝缘皮的操作

拿60W电烙铁来说，S平时在“低”的位置，即可满足一般焊接需求，当需要大面积焊接时，可把S向“高”拨动，此时，220V直接加在烙铁芯上，电烙铁以额定功率工作，同时VD2通过限流电阻发光做高温指示。

增加切割导线塑料绝缘皮功能

在固定烙铁头的螺丝上，按照图2所示的形状，用0.3mm厚的白钢片做一个切割导线绝缘皮的装置。

在电烙铁热的状态下，把导线头在此装置上转一圈就可以把绝缘皮切断，如图2所示。特别是较细的导线塑料绝缘皮及带塑料护套的屏蔽线，用此装置处理起来更是得心应手。

维修网易通交换机的经验点滴

◇崔华卿

我校建有6个数字化语音室，用的都是网易通DCS-1024交换机，经过几年使用，先后有7台损坏，损坏的原因都是电源板上UC3842的7脚所接启动电阻R13内部开路。

因为找不到该机的电源原理图，因此只能凭经验对电源部分做相关检查。打开机盖，首先看电源板上有没有表面发黑、烧坏的元件，用万用表电阻挡测保险丝完好，通电后测得电压值300V，输出正常。用数字表直流20V挡，负表笔接220V整流输出端地，正表笔测UC3842各脚，发现除3脚有0.24V电压外其余各脚电压均为0V。断电后测启动电阻R4、R13，发现R13已开路，如附图所示。

原机是用两只3W/68kΩ电阻R4、R13串联，300V经R4、R13接到UC3842的7脚上，当R13开路后，UC3842得不到启动电压，造成整个电源不能工作。换一只3W/68kΩ电阻后，故障排除。

附图 R13 的位置

观察从原机拆下的电阻，发现比后换的电阻要细一点，这可能就是造成损坏的原因之一。经过更换R13后，这些交换机故障基本排除。

Q&A 问与答

Q&A 提问指南

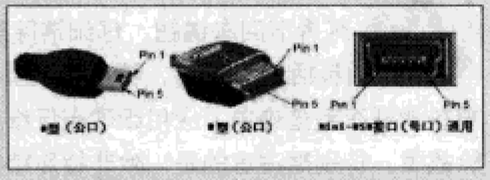
读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

Q 一台双硬盘、双系统电脑中的一个硬盘损坏，新购一个同型号硬盘安装好后重装系统，但无论如何装不了，不管作为主盘（MASTER）还是从盘（SLAVE）都试过，每次安装总是停留在下述提示的界面上：“因以下文件损坏或丢失，WINDOWS 2000无法启动<WIN 2000 root>\system 32\ntoskrnl.exe。请重新安装以上文件的拷贝”，反复重启后都是这样，联系专业维修部来检修也不行，说是可能硬盘不良，要换硬盘，不过换了硬盘还是老样子，就是安装不了，不知怎么才能解决？（山东　邓兴友）

A 这种故障较为疑难复杂，问题根源基本都在于双硬盘没很好兼容，如果将两个硬盘都重新格式化分区，就能解决问题，但这样做十分费时费力，等于要重装两个系统和恢复两个硬盘数据。不过根据我们的经验，可将新硬盘的跳线改插入CS位置试试，通常大都能解决问题。硬盘跳线通常有MASTER、SLAVE、CS三种选择。CS即电缆选择方式，安装系统时一般将硬盘安装在IDE线缆原来的位置。（王德沅）

Q 标准USB插口和插头一般都是4个引脚，但是最近我们在维修实践中经常发现有5脚的USB插头插座，不知这类插头插座多出来的一个引脚有何用，希望用图示介绍一下其引脚识别方法？（安徽　谭放明）

A 5脚的USB插头、插口通常是Mini USB，其外形及引脚识别如附图所示。



与常用的普通4脚USB相比，主要是多了一个ID脚（4脚），而它的5脚为地，对应普通USB的 4脚，1、2、3引脚定义两种USB是相同的。Mini-USB接口分Mini-A、B和AB型三种接口，根据系统需要而选择。其中ID脚主要供系统控制器判断插入设备的类型等，判断依据通常是高或低电平。（王德沅）

Q 有一台HC EC001型精品电子称，使用一段时间后电池电量不足，该机采用一节CR2032锂电池，但联系本地商家只有CR2025锂电池，据说可代用，不知两者的电压和外形尺寸是否一样，能否直接代换？（浙江　沈嘉义）

A CR2032与CR2025都是3V纽扣型锂电池。两者的直径相同，但是厚度不一样，CR2032厚度约为3.2mm，CR2025的厚度约为2.5mm。还有CR2032的电流容量是220mAh，而CR2025则为150mAh。所以，只要CR2025放入电池仓后能保持接触良好（其厚度比CR2032小，可采取拨开接触簧片、加垫片等措施来解决接触问题），就能直接代换CR2032，只是CR2025容量较小，使用寿命也会相应短一些。（王德沅）

Q 有一台5倍光学变焦的三星数码相机，原来使用效果不错，但是最近携包出差外地，乘坐地铁，数次经过地铁安检机器，此后就发现数码相机的变焦功能不好了，动作变得比较呆滞不平滑。据说地铁的安检机器对数码相机和感光胶卷等都有影响，是这样吗？（河南　李纪）

A 首先要指出，地铁、机场的行李X光安检仪对数码相机是没有影响的。这类行李、包裹安检仪的辐射剂量很小，通常只是医用X光诊断的几十分之一，对消费类电子产品不会造成危害，影响也是微乎其微得。只是对通过几十次安检扫描后的感光胶卷有成像轻微异常的影响，当然这种情况一般也不会发生。所以你的相机故障肯定与安检辐射无关，而是元件损坏或经跌落、撞击等造成的。数码相机大多采用变焦电机通过齿轮驱动镜头来实现光学变焦，变焦机构失灵易导致动作不畅，从而造成所述故障，可仔细检查处理。如果缺乏维修经验或相机还在保修期，建议送专业维修部修理。（王德沅）

Q 在维修实践中经常遇到电器电子装置的管型保险丝熔断故障，但是手头往往没有合适的保险丝管可供替换，据说可用相应规格的铜丝来代替保险丝，是这样吗？怎么代换？（辽宁　史东衡）

A 可以用漆包线（或铜丝）来代替保险丝，对于玻管保险丝，通常只要将相应的漆包线焊接在损坏的玻管保险丝两端即可，如果原保险丝是焊接在电路板上的，也可直接将漆包线焊在电路板上。这种方法最适合应急修理，以后有了配件还是应该更换。此外，对于快速、延迟式等特殊熔丝，此法大都不适用。（王德沅）

Q 请介绍一下现代数码产品中应用十分广泛的音频功放集成电路LM4890各引脚的功能，其中一脚的电路标注为“SD”，特别不解，能否详细解释解释？（四川　孙贸才）

A LM4890的1脚（SD）是“关断、静音”（SHUTDOWN）端。LM4890内置待机电路，当SD引脚电平为低时，功放电路工作在待机模式，SD电平为高时，功放电路正常工作。其各引脚功能如右表所示。（王德沅）

引脚号	英文符号	功能说明
1	SHUTDOWN	“关断、静音”（SD）端
2	BYP	内部“共模”电压旁路端，外接旁路电容器
3	+IN	正相输入端
4	−IN	反相输入端
5	VO1	输出端1
6	VDD	电源电压端
7	GND	接地
8	VO2	输出端2

问与答

提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

Q 一台德生PL757型数字调谐全波段立体声收音机，开机后无声，液晶屏无显示，但是按动“夜间照明”按钮，指示灯会亮，拆机后检查电路好像都正常，实测电源电流为18mA左右，不知是否正常？怎么检修？ （重庆　王渝）

A 德生PL757型收音机的静态电源电流正常为36~43mA（仅显示时间时的静态电流是60~80μA）。现在你实测电源电流在18mA左右，说明电流太小，通常在电池电量充足的情况下，大都是机内电源电路的某个分支负载存在断路所致。检修时，可分别测量各个电源负载的电流，发现电流很小或没有的负载，一般就是故障所在，通常以集成电路或晶体管脱焊或损坏为多见，可重点检查之。注意，“夜间照明”灯会亮并不代表电池电量一定是充足的，必须以实测其负载电压为准。

（王德沅）

Q 一台CALLONE KW168型便携式DVD播放机，在播放碟片过程中经常发生图像飘移、声音失真现象，有时图声会突然消失，并且发出“咔咔”的声响，好像是从光驱位置发出的，拆机检查多日，也没发现什么问题，电源电压和各个工作电压似乎都正常，不知何故？怎么排除？ （浙江　杨元勤）

A 在播放过程中经常发生图像飘移、声音失真等现象，说明该机存在软故障。根据发出“咔咔”声响的这一特征，推断很可能是光盘被经常卡阻所致，所以检查重点应该在激光头组件的光盘托盘，该机采用索尼KHS-313激光头组件，检修时可仔细检查光盘托盘的灵活性，发现托盘受阻现象，只要设法排除，如加个小垫圈抬高托盘等，就能解决问题了。 **（王德沅）**

Q 我家的一台笔记本电脑通过D-LINK Di624路由器无线上网，有时会发生连接不上的问题，据说可用Ping命令来测试网络的问题所在，是这样吗？如何测试？

（贵州　高小明）

A Ping是个使用频率极高的测试程序，如果Ping运行正确，大体上就可以排除网络访问层、网卡、MODEM、电缆和路由器等方面的问题，从而大大压缩故障范围。如Ping Di624路由器，在电脑的“运行” 里键入cmd，再：ping 192.168.0.1，如果出现Reply from 192.168.0.1: bytes=32 time<10ms TTL=128（缺省为4条这样的提示），说明回送应答正常，并且时间长小于10ms；倘若出现Request timed out，说明没有ping通，在路由器、MODEM和网线都连接良好的情况下，一般就是路由器程序设置出错或损坏所致。 **（王德沅）**

Q 我家的一台电脑，最近在使用中经常会发生回车键按下后无法弹起的故障，拆卸回车键，进行了较彻底的清洁，而且还加了少许润滑油，但是重新安装好后，却比原来更差了，几乎每次按键都无法正常弹起，而这个键盘只用了一年不到，这是何故，如何解决？ （广东　雷建平）

A 回车键通常体积较大，比较容易发生这种故障。维修时，可拆下回车键钮，仔细清除影响其灵活性的污垢、杂物(包括润滑油)等，特别是藏匿在套筒内的污垢、如果按键塑料滑杆有毛糙迹象，应用细砂布仔细磨光，然后装好按键就能排除故障。特别需注意的是，除非特殊结构的键盘，一般不可使用加润滑油的方法，否则结果往往适得其反。 **（王德沅）**

Q 现在许多电子表、微型录音机和计算器、计步器、电子称等数码电子产品中都广泛采用了各种各样的微型纽扣电池，使用、维修过程中常需检查或代换这些电池，但是经常不能找到相关资料，不知能否请贵刊提供较详细的特性资料？

（河北　李民祥）

A 常用AG系列微型纽扣式电池的主要特性和外形尺寸如附表所示，其中AG0为系列中体积最小的品种，AG4则为最常用的品种。 **（王德沅）**

附表 常用微型纽扣电池特性一览表

规格型号		电压(V)	容量(mAh)	负载电阻(kΩ)	尺寸(mm)		重量(g)	其他对应型号
中国香港	日本				直径	高度		
AG0	L521	1.5	7.5	22	5.8	2.1	0.28	LR63、LR379
AG1	L621	1.5	13	22	6.8	2.1	0.34	LR60、LR364
AG2	L726	1.5	23	22	7.9	2.6	0.50	LR59、LR379、LR396
AG3	L736	1.5	42	22	7.9	3.6	0.70	LR41、LR384、LR392
AG4	L626	1.5	17	22	6.8	2.6	0.40	LR66、LR377
AG5	L754	1.5	52	22	7.9	5.4	1.0	LR48、LR393
AG6	L921	1.5	28	22	9.5	2.1	0.60	LR69、LR371、LR370
AG7	L927	1.5	32	22	9.5	2.7	0.75	LR57、LR395、LR399
AG8	L1121	1.5	42	22	11.6	2.1	0.90	LR55、LR381、LR391
AG9	L936	1.5	50	15	9.5	3.6	1.0	LR45、LR394
AG10	L1130	1.5	80	15	11.6	3.1	1.10	LR54、LR390、LR389
AG11	L721	1.5	20	22	7.9	2.1	0.40	LR58、LR362、LR361
AG12	L1142	1.5	96	6.8	11.6	4.2	1.60	LR43、LR301、LR386
AG13	L1154	1.5	100	6.8	11.6	5.4	2.00	LR44、LR303、LR357

问与答

提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

Q **在维修实践中经常遇到电器电子装置的管型保险丝熔断故障，但是手头往往没有合适的保险丝管可供替换，据说可用相应规格的铜丝来代替保险丝，是这样吗？怎么代换？** （辽宁　史东衡）

A 可以用漆包线（或铜丝）来代替保险丝。对于玻管保险丝，通常只要将相应的漆包线焊接在损坏的玻管保险丝两端即可，如果原保险丝是焊接在电路板上的，也可直接将漆包线焊在电路板上。这种方法最适合应急修理，以后有了配件还是应该更换。此外，对于快速、延迟式等特殊熔丝，此法大都不适用。常用保险丝漆包线的资料如附表所示。

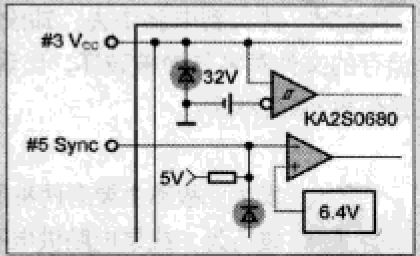
（王德沅）

附表

管型熔丝额定电流（A）	对应代换漆包线的直径（mm）	一般熔断电流（A）
0.5	0.03	0.6~0.8
1.0	0.05	1.3~1.5
2.0	0.08	2.3~2.9
3.0	0.1	3.6~4.1
4.0	0.12	5.2~5.8
5.0	0.15	7.0~7.9

Q **有一台三星显示器，开机后屏幕无显示，电源指示灯也不亮，拆机检查发现开关电源集成电路KA2S0680损坏，更换KA2S0680后，显示器恢复正常，但是没过几天KA2S0680又被烧坏，损坏特征与上次一样，都是3脚对地被击穿，据说可以在3脚对地接一个30V稳压管起保护作用，避免集成块损坏，不知是否可行？** （甘肃　苏志根）

A KA2S0680 3脚正常工作电压为18V左右，但启动时或电源干扰较大时的脉冲电压可能会较明显升高，对3脚电路有所冲击（3脚最大电压为30V），故而为了保护集成块，KA2S0680的3脚内部本身就集成有32V的保护稳压管，如附图所示，所以一般不需外接稳压管。如果KA2S0680的电源电压没有异常，通常屡屡被烧坏的原因基本就是集成块本身质量不佳，换正牌优质集成块就能排除故障。 （王德沅）



Q **有一台香山EK3550-31P电子厨房秤，购来使用几个月后，有一天早上用时还一切正常，但是下午开机后电子秤显示混乱，无法使用，调换电池后也一样，按ON/OFF键无效，这是何故？是电子称坏了吗？能否解决？** （山西　郑常生）

A 这种故障大都是电子称内部程序出错所致。该电子称具有自动关机功能，在开机状态下，如果2min无操作就会自动关机。倘若显示乱码，或超过2min不能自动关机，可以拆下电池，过5s以上再装上，这样大多就能解决问题。如果电子称受潮或被液体浸蚀过，需要拆下电池，烘干或晒干后再装上电池使用。 （王德沅）

Q **一部ZTE中兴牌手机不慎掉落在水盆中，幸好没开机，但是发现已经有水进入机器内，不知如何处理比较妥当？** （南京　黄卫民）

A 手机、播放器、相机、笔记本电脑等数码产品进水或饮料等液体的现象十分常见，因为处理不当而使机器故障加重或报废的情况屡见不鲜，所以要认真仔细处理，最关键的要点如下：一是应尽快关机、处理，因为进水时间久了，会使电路板和元器件产生霉变、锈蚀、漏电等故障，还可能使有些零部件无法拆卸，维修就难以进行。二是千万不要稍作处理后就急于开机试验，应该彻底清除机内水分和污垢再试机。三是拆卸机器后盖，取出电池和储存卡等可方便取出的零部件，然后用药棉或吸水纸吸干机内的水分，再放在太阳光下晒1~8小时（视进水严重程度而定），才可试机。如果是进水较久较严重的机子，则大多需要拆卸检修，将另文介绍。 （王德沅）

Q **一台万利达PDVD-1703型便携式液晶DVD视盘播放机，发生不开机故障，电机不转，经检查发现电机驱动集成电路U202（D5954）似乎有被烧黑的痕迹，故怀疑其已经损坏，但不知能否用简易的方法来进一步确认故障，以便决定是否拆装集成块？** （吉林　吴烨宇）

A D5954是四通道CD/CD-ROM、DVD电机驱动器集成电路，采用HSOP-28封装。对于被烧坏的D5954，通常其电源引脚在线对地电阻会有明显变化，大多是显著变小。根据这点，可用万用表R×1k挡测量D5954的8脚（Vcc）或9脚、21脚（PVcc1、PVcc2）的对地(10、22脚)电阻值，正常时应该为3.2~3.9kΩ和300~500kΩ（正、反向测电阻，测量时有充电现象，应等表针稳定后再看结果），如果实测明显小于正常值，在外围相应电路和元件正常的情况下，就可基本确认集成块已损坏。 （王德沅）

问与答

提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

Q 我对收藏胆机很感兴趣，最近淘到一台20世纪50年代的牡丹牌511型收音机，试机发现声音宏亮，音质也不错，但就是灵敏度太低。我们本地原来可收到较强的中波台有7个，可该机只能收到3个，另有4个微弱有音或收不到，外地的中波弱台就更不要提了，曾经听人说换管可解决，但试换过变频、中放管等均无效，不知怎么才能提高灵敏度？（浙江　丁剑锋）

A 在变频、中放管没有衰老的情况下，灵敏度低主要是中周（中频变压器）和三点统调失调所致。因为这种旧机难免发生中周磁芯老化、谐振电容变化等现象，这会使中频和统频偏移，从而导致信号衰减，灵敏度变差，只要重调中周和三点统调就能排除故障。如果没有中频发生器等仪器，可先接收一个较弱的电台，然后由后向前分别反复调整两个中周的磁芯，直至声音最响且不失真为止。接着在中波段高、中、低端依次接收一个电台，分别调整变频级的线圈磁芯和电容器，使3端的电台接收效果都处于较佳状态即可。（王德沅）

Q 有一台个人电脑，最近使用中经常发生点击一个软件或文件夹的图标，出现一串图标都变色选中的情况。如果打开，许多软件或文件都会被打开，或者死机，注销当前账户不行，而且不能重启，需按RESET才行。这是何故？如何解决？（陕西　周金）

A 答：这种故障通常是SHIFT键发生短路所引起的，最常见的就是SHIFT键不灵活，经常出现按键后不能弹起或处于弹起一点的状态，而此时键开关仍是导通的，相当于按下此键再按其他键，从而出现一串图标都被选中变色等现象，而用户因为不注意，就会觉得很奇怪。维修时，可拆卸SHIFT键，清除影响其灵活性的污垢、杂物等，如果按键塑料弹性帽老化，应更换新件，如此就可排除故障。倘若短路是由按键薄膜线路进水引起的，可拆卸键盘，清除水分后就能解决。（王德沅）

Q 有一个市面流行的4G闪盘，使用两年多来比较正常，期间也出现过一些问题，不过经过相关软件或上网站在线修复过后，都顺利解决了。但是最近发现其容量变小了，原来因为存储文件始终没超过1G，故没注意，最近复制大文件时发现了这个问题，在线修复和格式化也无效，这是为什么？（云南　程祖本）

A 通常闪盘在使用日久后，内部储存单元不免会有一些耗损，而使用相关修复软件，能够将损坏的储存单元屏蔽起来，不让数据储存于此，以避免文件损坏或遗失。这样就会导致容量变小，但一般不会大幅减少，否则使用价值就很低了，而且储存单元大面积损坏的闪盘也很难修复。此外，还有一种情况是采用“黑片”的假冒伪劣闪盘，其标称容量往往比实际容量大得多，如4G容量的实际仅500M等，这种闪盘有一定的欺骗性，如果用户只在其实际容量内使用一般就没问题，一旦存储量大了就会原形毕露。（王德沅）

Q 有一款某牌号的四合一多功能读卡器原来使用还算正常，但是最近一次将它与电脑和TF卡连接，想把TF中的资料拷贝到电脑中去，却没成功，反而把TF卡弄坏了。卡内储存的文件莫名其妙被破坏，出现不能打开、文件破损的提示。这是何故?怎么排除？（江苏　沈家延）

A 发生此故障主要有两种原因：一是TF卡在使用中有不当插拔行为，或是电脑供电不正常，从而导致储存卡损坏，二是读卡器有故障，通常是接触不良。这对某些多功能读卡器而言是较常见的，因为其USB插脚直接焊接在印制板上，没专门固定装置，容易发生松动或脱焊等问题，这样在使用中时通时断，相当于不当插拔，从而造成所述故障，只要将USB插脚焊接良好就能避免这个问题。对于损坏的TF卡，可先用数据恢复软件提取资料（不一定能全恢复），然后进行格式化，大都能够修复。（王德沅）

Q 有一台清华紫光KD-988移动DVD影碟机发生不读盘故障，经检查确认是D5954损坏所致，手头没有这种型号集成块，但是有两片封装与其完全相同的D5888S，也是从别的报废影碟机上拆下来的，估计功能相似，不知能否代换？（河北　魏国平）

A D5954是四通道CD/CD-ROM、DVD马达驱动器集成电路，而D5888S是五通道马达驱动器，比D5954多了进出仓驱动电路，两者主要用于DVD播放机或CD/CD-ROM的主轴和聚焦伺服等电机的驱动。虽然两者功能大多相同，而且都是采用HSOP-28封装，但是内电路结构有差异，各个引脚功能也不尽相同，所以不能直接互换。D5954可用BA5954或CD5954直接代换，在有的DVD或CD机中有这两种集成电路。（王德沅）

问与答

提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

Q 我家一台电脑最近发生了一种奇怪的故障，经常会出现屏幕上没有光标的现象，启动时也一样，但键盘等好像都正常，重启电脑大多数是没用的，也曾经怀疑鼠标损坏，但是换过两个新的鼠标均无效，而且鼠标都是USB接口的光电型正牌新品，这是为什么，怎么才能解决？（四川　张之强）

A 这种故障通常与鼠标本身无关，主要原因是鼠标USB插口被水分或污垢侵蚀后造成漏电，从而使鼠标失效，此时往往可在任务栏看到移动设备的图标，实际是USB漏电形成的虚假标记。对此只要仔细清洁鼠标USB插口，去除水分和污垢即可恢复正常。同时注意平时使用时要防止水分和污垢进入USB插口，特别是使用USB HUB或延长线的更要小心，因为茶水或咖啡等溅出或翻到后很易进入插口。除此之外，电脑USB插口电路存在不稳定故障也可能导致鼠标失效，但一般很少见。（王德沅）

Q 一台格兰仕微波炉开机后炉盘会转动，但是不能加热，拆机检查，发现高压保险丝管被烧坏，调换同型号保险丝再开机，保险丝管没有被烧，但仍然不能加热，经查，磁控管、高压变压器、高压二极管和电容等好像都没问题，这是何故，怎么解决？（吉林　李昊等）

A 保险丝管被烧断基本上都是高压电路出现短路故障而造成的。在高压变压器、高压二极管和电容等大体正常的情况下，应该重点检查磁控管，用万用表RX10k挡测量其灯丝与管壳间电阻，正常为无穷大。如果测量电阻很小，表明磁控管损坏，从而造成高压短路，导致保险丝管烧断。对这种磁控管，可修理或换新。在磁控管正常的情况下，倘若换上保险丝仍然不加热，那大多是保险丝管或磁控管接触不良所致，以前者更为常见，只要排除接触不良，微波炉就能恢复正常。（王德沅）

Q 我们在维修数码电子和家电产品时，常常发现一些外形和贴片电阻相同的元件，但是测量它们的阻值却为零，不知这类元件有什么用，如果损坏能直接摘除或用导线代替吗？（湖南　施振坤）

A 这类元件是0Ω贴片电阻，实际相当于一段导线，通常只是为了印制线路板的设计、调试方便或电路兼容等因素而设，例如作为桥接元件、跳线元件和暂时连接元件等。如果损坏，可从废机上拆卸相似元件代替，当然用导线代替也可以，只是连接时必须注意不要与相邻印制线路或其他元器件发生接触和短路。（王德沅）

Q 有一台DC59V电动三轮和摩托车用充电器经常损坏，每次出现故障的主要原因是大功率管C1815被烧坏，有时还有一些零部件也会损坏，但是大功率管的损失最严重，且调换也不便，怎样才能较好地解决这个问题？（广东　陆伦源）

A 这种故障通常是使用不当，或充电器没设保护电路，或保护电路不良所致，其中“使用不当”占了很大比例，表现主要是用户经常匆忙使用、随意操作，让充电器常处于空载状态，这样就容易造成功率管损坏。所以，必须防止充电器处于空载状态，即：必须先插入（或接上）蓄电池才插入充电器220V电源（开机），充完电，必须先关掉充电器电源，再断开蓄电池。对于没有保护电路的充电器，一般不会是正牌合格产品，建议报废换新，而对保护电路不良而言，则可以改进电路或予以维修。（王德沅）

Q 有一台31灯LED台灯，使用半年多基本正常，最近一天的早晨将台灯插入电源进行充电，起先无恙，但是过了10多分钟，突然发出“啪”的一声惊人异响，就像放爆竹，这是何故，能否修理？（浙江　金晓明）

A 这种异响主要是台灯充电电路中的电解电容发热爆裂引起的。由于这类台灯一般采用电容降压式充电电路，结构比较简单，所以维修并不难。通常只要调换被烧坏的元器件就能排故障，实践表明，通常以电解电容、二极管等损坏最为常见。此外，因过流缘故，印制板上与220V市电相关的印制线路往往被烧断，若是，就需修通。最后须注意，使用中，当LED灯泡光线暗淡时就应停用并及时充电，别等到LED无光时才充电，另外必须关灯后才能充电，否则极易发生上述故障和损坏电池。（王德沅）

Q 一般影碟机、电脑光驱和CD机的激光头，其功率调节电位器都是连接成相当于一个两端的变阻器，调节起来容易确定，但是我们也发现有电位器三端都使用的激光头，例如雄兵HM4500A型光驱就是这样，维修时该怎样确定调节方向和大小？（福建　丁毅刚）

A 的确有少数激光头组件是电位器三端都使用的。对于这种激光头组件，首次出现衰老不读盘或读盘差故障时，通常拆卸后，调节时只要将电位器摆放成并排的两端朝下，中心端朝上的位置，然后顺时针调节中端片，将中端和底部右端两者的阻值调整为原来的70%左右即可。使用一段时间后，如需第二次调整，可在原来基础上再减少30%左右即可。（王德沅）

光荣公司科教产品套件大全（元）

1. 6管收音机	14/套	10. 调频调幅收音机Ⅱ	22/套	19. 数字万用表	19/套
2. 7管收音机	16/套	11. 调频调幅收音机Ⅲ	26/套	20. 指针万用表	34/套
3. 8管收音机	20/套	12. 调频收音对讲机	26/套	21. 手机万能充	5-6/套
4. 直放收音机	10/套	13. 卡通音箱调频收音机	20/套	22. 八路抢答器	18/套
5. 一装响收音机	9/套	14. 调频插件收音机	20/套	23. 插卡收音机制作套件	40/套
6. 双调频收音机	26/套	15. 9波段收音指针	35/套	24. 5寸黑白电视套件	130/套
7. 中波台式收音机	22/套	16. 9波段收音数显	40/套	25. 读卡调频收音机套件	40/套
8. 中短波台式收音机	28/套	17. 调频收音耳机(大)	26/套	26. 充电灯	18/套
9. 调频调幅收音机Ⅰ	20/套	18. 半双工对讲机	18/套		

20多款不同种类收音机及更多科技产品套件尽在公司主页

WWW.GuangRongKeJi.com 电话：4006006849

北京：13301307792；新疆：0991-4502565 QQ：656634492 653609758
辽宁：024-31585257；黑龙江：0451-88867786

启明维修软件隆重推出2013富强版！

启明维修软件2013富强版教祝我国早日实现富国强兵、百姓安居乐业、社会和谐安定、环境绿色环保的伟大理想；富强版的另一层含义是指启明维修软件内容丰富海量、功能强大，它是家电维修者的必备工具；

启明家电维修软件是应用现代电信、计算机技术重点解决维修过程中寻找故障点难、查找电路图纸难、查找集成块等技术资料难的一种软件，它还兼有家电维修经营管理、材料管理和家电维修的学习功能。它能够在各种Windows系统中运行，包括Windows7（32和64位）、WindXP、Vista。

启明软件通过20年艰辛的努力收藏了20世纪80年代以来国内外电视、音像、计算机、办公设备、通信、汽车摩托车的大部份电路原理图、维修经验实例、电子元器件（晶体管、场效应管、电子管、集成块、行变、遥控器等）参数，启明维修软件2013富强版拥有近百万条维修经验实例、37多万张电路图（相当于上千本图集）、80多万种元器件（相当于上百本元器件手册）的电气参数、5万多个整机或单元电路的电路原理，根据硬件、软件、故障现象的相关性，它能对243个家电产品种类、13001个品牌、139436种机型家电产品的计算机辅助故障诊断提供帮助，它是21世纪家电维修必备的工具,是家电维修值得珍藏的宝典!

迄今找不出一本资料大全或者某一个网站或者某一套软件的资料能够与启明维修软件相比，拥有一套启明维修软件，相当于把市级图书馆中的绝大部份家电维修资料都搬到你的计算机中，启明软件拥有海量的电路图和技术资料，并将其科学分类排序，查询非常方便与神速，这是维修人员在短时间内很难从互联网和一般书籍、技术资料中找得到的；在互联网查资料有许多"陷井"，把你搞得晕头转向，费时还下载不到需要的图纸与资料，并且互联网上资料的可靠性较差，用启明软件可克服上述缺点。

启明软件在国内是研制开发和发行最早的家电维修软件，她以"诚信"为生命，是维修人员全天候的朋友，赢得了维修人员的好评。为确保软件质量，启明软件郑重承诺，实行三包，试用60天不满意无条件退货、退款；一年内包换，终身包维修。团购优惠，现役军人、残疾人购买优惠，2005A以前版本特别优惠升级，欢迎代销，免费索取介绍资料。

启明维修软件具有六种不同的版本（电视机专版、音像制冷版、通信计算机版、专业版、汽车摩托车版、企业版）和良好的售后服务，确保电话和网络服务(QQ、网站留言等)时刻畅通，及时回答各种问题及咨询，解决使用软件的疑难。

软件设计、主编：冯启明。永久通信地址：武汉市喻家山华中科技大学喻园小区9栋17单元1002室 冯启明（收）邮编：430074 电话：027-87546258、87542465(兼传真)、18971075856、18971072691,18986115680、13797049281 (服务时间：8：30至17：30) QQ：924850236、1034189510、215610739、597464876、645541080、78268261。Email：fqm701@mail.hust.edu.cn fqm@qmstar.com 网站：www.qmstar.com www.qmstar.net www.启明维修软件.cn (网站上有演示版免费下载) 淘宝店：http://shop36542056.taobao.com
从2011年起,我们和伊万、欧万、安泰信和海特等著名仪器厂商合作，竭诚为维修者供优质的维修仪器和软件

PCB半工艺打样

一片起做 当天发货！货到付款！

1. 半工艺打样：采用数控钻孔、割边、光绘、蚀刻等工艺制作。钻孔没有金属镀层、没有字符丝印（可以印黑色的字符）、没有阻焊绿油。适合做实验、手工焊接用，也可用于量产前检查。16:30以前成交的发货时间为当天晚上22:00。请登陆www.pcb-ok.com自助计价，或者电话、短信、QQ、旺旺咨询。

2. 全工艺打样：由深圳市名优企业制造，针对高要求的用户，工艺包括阻焊、丝印、金属化孔、喷锡或镀金、飞针测试、铝基板等，5×5厘米以内75元10片，10×10厘米以内150元10片，其他尺寸价格请登陆www.pcb-ok.com自助计价，或者电话、短信咨询。

3. PCB抄板、设计：请提供照片、母版、原理图等。

4. 电路、单片机及产品研发：请写出详细要求。

5. 焊接：请提供元器件、PCB、SMT钢网（可定制、有贴片元件时需要）等。

6. 外壳、包装盒、产品说明书订制：请提供图纸、图片等，写出详细要求。

深圳市强格电子器材经营部

电话：0755-86052902 手机：13670276133 QQ：13542543 旺旺：szqgdz
邮箱：13542543@qq.com 淘宝店：http://szqgdz.taobao.com

河北沧州东方电路板厂

专业生产单、双面电路板、面板！（1）单面环氧电路板(松香工艺)：0.015元/cm^2，（2）单面环氧全工艺电路板（热风整平渡锡工艺）：0.025元/cm^2，（3）双面电路板（金属化孔，整平渡锡工艺）0.07元/cm2；（4）铝基板：0.07元/cm^2；（5）PVC面板：0.015元/cm^2，（6）衬板：0.015元/cm^2；阻焊、字符等工艺免费，批量供货4-7天，加急最快12小时！光绘制板，数控钻床、铣床、微机生产流水线，成品电脑针床检测。

保质高效为您服务，大批量另可详谈优惠

厂址：河北省沧县兴济镇陆官屯 联系人：张金东 市场部：0317-8815370
传 真：0317-4855899 手机：13463779978 15720407370
农行：6228481731223778316 户名：张金东
网址http://zhangjindong0630.cn.alibaba.com
QQ：623030905 旺号：6230309 邮箱：DF4852921@126.COM

北京市北科普源电子技术服务中心《无线电》《家电维修》杂志 邮购先进单位

2013新年特别优惠 购10台以上示波器优惠10% 另购1600以上再送价值10%的仪器 自提更优惠 免费培训仪器使用及维护 赠送10:1探头 网址：www.bkpy.com
仪器为大专院校，科研单位闲置设备 八五成新左右 经专业人员校验 保证性能 示波器保修二年 免运费 邮寄途中出现问题由我中心负责 电子邮箱：bjbkpy@sohu.com

★特别注意：大量20M-40M闲置示波器批发，八成新左右，价格150元起；另有全新仪器因版面有限未登出，请联系或上网查看。

★数字存储示波器DSS5020 数字模拟两用20M	480
全新DS1052E/DS1102E 50M/100M	1680/2280
PM3370B/PM3380B 数字模拟两用60M/100M	1100/1600
TEK2232/HP54501A/VC6545/HP54600A 100M	1300//2300
HP54622A//HP54645A/UM2202 100M//200M	4000
TDS210//TDS1012/TDS2012/TDS3012 60M//100M	面议
TDS320/TDS340/HP54645D(带逻辑分析仪) 100M	2500/4800
TEK2430A//HP54602A/HP54602B 150M	1300//2900
HP54502A/HP54503A/ 400M/500M	2180/2800
TDS520B/HP54610B/HP54615B 500M	特价6800
HP54111D/HP54520A 500M	特价2800/3200
TDS520D/TDS544A/TDS714L(彩色) 500M	面议
TDS3032B/TDS3034B/TDS3054B 300M/500M	面议
TDS784D 带宽1000M 采样率4GSa/S	面议
TDS820 6GHz 2通道，最大记录长度为15000pt/sec	面议
★模拟双踪示波器SS7802带频率直读20M	680
BS4321/YB4324/7020/CS1566A/SS5702 20M	280
TEK2261/BS601//V222/V212/CS4125 20M	320//420
BS4340/MS6035/CS1830/CS1577A 35M	350
DC4330/LEADER1040//HC6504/SS5705 40M	320//400
COS2040 /COS5041//CS4135 40M	420//500
BS5604/COR5504U/GOS645 CRT读出40M	680
V1050/COS5100/SS5711/SS5121 100M	680
COS6100/CS2100/VP5512A/TEK2235 100M	750
V1065A/V1565 自动扫描带频率直读100M	1550/1900
COR5500U//V1100/SS7610 CRT读出100M	950//1180
TAS465/TAS475/CS5400 (AUTO+CRT读出) 100M	1480
SS5321/5321S//PM3092（CRT读出）200M	1080//1680
VP5530B/SS5421//TEK465 300M/350M	1380//1580
TEK2465/TEK2465A/TEK2465B 300M/350M/400M	面议
★1000M示波器校准仪MODEL6127B 美国	面议
★视频分析仪TEK1711B/TEK1741/TEK1781R	1500
★数字电桥LCR4225/LCR745/B905	1100/1300/2600
HP4274A/HP4275A 100Hz-100K/10K-10M	面议
HP4263A/4263B 精密LCR测试仪100Hz-1M	面议
★噪声系数测量仪AV3981/HP8970A/HP8970B	面议

★矢量网络分析仪R3751H 10HZ-300M	7800
HP8753C/安捷伦8722ET 0.3-3G/50M-40G	面议
HP4195A频谱/网络/阻抗分析仪10Hz-500MHz	面议
HP8757A标网(配HP8350B) 0.01-20G	面议
★阻抗分析仪HP4191A 1MHz-1GHz	12800
★综合测试仪CT2100 400K-1000M	1500
R2600B/C 带频谱和跟踪源400K-1GHz	面议
HP8920A 带频谱和跟踪源 400K-1GHz 60W	面议
马可尼2945/2945A/2955B 400K-1GHz	面议
HP8921A全新带包装 带频谱和跟踪源 400K-1G	面议
E6392B/E6393A 安捷伦GSM/CDMA手机测试仪	3500
CMU200 GSM400M/900M/1800M/1900M	面议
★频谱分析仪AV4032C/HP8594E 9K-2.9GHz	面议
HP3582A/HP3580A 0.02Hz-25.6k/5Hz-50k	3800
HP3562A/HP35665A 动态信号分析仪64uHz-100k	面议
HP35660A/HP35670A动态信号分析仪64uHz-100k	面议
HP3585A/HP3588A 20Hz-40M/10Hz-150M	面议
AT5010/TR4132//TR4122B (带跟踪源) 1G//1.5G	2000//3500
MS610B/TR4111A 10K-2G/10K-4.5G	3500
HP8567A/HP8568A/HP8568B 100HZ-1.5G	面议
HP8590B/E4411B（安捷伦） 9K-1.8G /9K-1.5G	面议
HP8590D/HP8590L/HP8591E带跟踪源9K-1.8G	面议
TEK2712/TEK496P//TEK492P 1K-1.8G//10K-21G	面议
U3641//R3261D/R4131B/D 9K-3G//3.5G	面议
R3361C（带9K-2.6G跟踪源）9K-2.6G	面议
R3465/R3272 9K-8G/9K-26.5G日本爱德万	面议
HP8595E/HP8561B 9K-6.5GHz/50Hz-6.5GHz	面议
HP8596E/E4405B 9K-12.8GHz/9K-13.2GHz	面议
AV4032/AV4033/HP8563E 9K-26.5GHz	面议
HP8592A/HP8592D/HP8593A 9K-22GHz	面议
HP8559A/HP8565A/HP8569B 10M-21G	5800//6800
HP8566A/MS710A CRT读出 100HZ-22G/100K-23G	面议
MT8801A 300K-3G频谱分析仪 日本安立	8000
★微波放大器AV3860/HP8347A/HP8349B	面议
★逻辑分析仪HP1651A/HP1654B/HP1652A	1200/1600
TEK308/TWLA500(全新) 20M/200M 25/18通道	380/1200
HP1660E/HP1662A(带示波器功能) 500M	2600
TLS216(带示波器功能) 16通道 2GHz采样 500M	4500
TLA602 68通道 2GHz定时 100MHz状态	6800

★信号发生器DF1641/GFG8016 2M函数源	260/380
YDC996(全新)/GFG813/HP3312A函数源 1M/13M	320/880
TFG2006V/TFG3050 DDS函数源6M/50M	450/1480
YDC868-2/2B/PM5418TD彩电信号源	220/260/4800
SG1051S 100K-150M调频立体声 输出1K音频	260
TF2016/TF2015 10K-120M/10M-520M	450/850
★合成信号源 SFG830 30M任意波形信号源	1800
HP3325A/HP3325B 1μHz-21M带扫频函数源	2200/3500
HP3326A 双通道合成函数信号源DC-13M	3100
全新函数/任意波形发生器 DG1022 1uHz-20M	1980
HP33120A/HP33220A任意波形信号源15M/20M	3300/7800
PM5150/WF1944/DS340/AFG310 任意波形信号源15M	2800
HP8112A/HP8114A 50M脉冲源	1500//2600
HP8110A /HP81110A合成脉冲信号源150M/165M	面议
SG8150//MG422B/HP3336B 220M//30M	1500/2200
2022C/WAVETEK2410//SMX 10K-1G	3300//4200
JSG1610A/HP8656B//HP8648A 0.1-1G	3900//5800
HP8657A/FLUKE6060B//HP8662A 1000M	4800//5800
2520A//FLUKE6062A/HP8657B 100K-2G	5200//6800
MG3670B/MG3660A 300K-2.25G/2.75G	5800/7800
E4420B/IFR2023B//IFR2031 10K-2G//2.7G	面议
E4431A/E4431B 250k-2G液晶显示数字型	面议
HP8664A//E4421B/SME03(液晶显示)250k-3G	面议
HP8683B/HP8684B 2.3G-6.5G/5.4G-12.5G	4200
HP8672A/HP8673E 2G-18.6G 合成信号源	12000
★微波扫源AV1486/HP83752B 0.01-20GHZ	面议
HP8350B(插件HP83590A/83592A)2-20G/0.01-20G	面议
HP8350B(插件HP83592B/83572B)0.01-20G/26.5G	面议
★扫频仪BT3C//QH1255/SWOB5 300M//1G	600/1800/4000
★失真仪BS5/BS1A/GAS-201G 10Hz~110k	680/980
★音频分析仪HP8903B 20HZ-100KHZ	面议
★图示仪TEK577/TEK572-D2 500V/10A	1800/2500
QT14/QT2 5KV(20A)/3KV(50A)	800/1200
BS4810/DW4823/XJ4810 500V	680/880/1200
★微波功率计HP436A/GIGA8541C	800/1300
HP11758B(内含HP437B)/E4418A	5800/9800
★峰值功率分析仪 HP8991A分辨率	100ps 2800
★电量测试仪PF9800/2533E DC/AC数字功率计	700/2200
PM4400谐波分析仪 0.2 Hz-500K英国	4500

★频率计HP5334A/HP5385A 100M/1G	980/1300
W2000/ZW006/Y2003/2003B（全新）2.4G	180/255/350
PM6666/PM6681/PM6685//HP53132A 300M/3G	面议
MODEL6020/EIP25B/HP5342A 10HZ-18G	面议
IFR2440/HP5350B/CPM20(带功率计) 10Hz-20G	面议
TR5204D/HP5348A(带功率计)10Hz-26.5GHz	面议
★数字采集器 Agilent34980A(34951A+34923A+34937A)	面议
★数字万用表 2480R/BY1943/F8050A 4位半	280/350
HP3455A/HP3468A/HP3478A//HP3456A 5位半	850/980
FLUKE8840A//FLUKE8842A/FLUKE45 5位半	1300//1600
7065/7150/192/7075/SI7061 6位半	800/1200
HP3457A/FLUKE8502A/8505A/8506A 6位半	面议
吉时立2000/HP34401A/HP3458A 6位半/8位半	面议
★毫伏表AVM13(音频)/DA22A/DYC5A(超高频)	220
★矢量电压表HP8405A 5-1000MHz	1800
★选频电平表HP3746A/HP3586A 30H-32M	3200
★接地电阻测试仪CS2678/2678B(有泄漏功能)	950
★耐压漏电测试仪YZ056（全新）/CJ2674	850
全新CS2670A(交流)/CS2672C(交直流)	1500/2500
★调制度测试仪HP8981B/HP8901A 150K-1.3G	2500/3500
★调制域析仪HP53310A 200M 200ps/1ps	面议
★误码分析仪ME520A/ME520B/HP3784A	面议
★交流标准源FLUKE5200A/FLUKE5205A	3500
★直流标准源TYPR2553/FLUKE5100A/5101B	面议
★直流稳压电源DH1716-4D/PA35 35V/20A	1100/1800
WAK-302B/DH1715/DH1718 30V/2A双路	280/320
PA18-2A/PA36-2A/PA36-3A 18V(2A)/36V(2A/3A)	450/650/800
HP6632A//3616A/E3630A/HP6645A	980//1200
HP6623A/HP6624A/HP6627A//HP6652A	2600//2800
DH1722-1/HP6032A 70V(5A)/60V(50A)	1200/4500
★变频电源AA330F 10-400HZ 日本产	2800
PCR1000L/PCR2000W 1000W/2000W日本菊水	面议
★示波器高压探头 P4060/P5100（100，1耐压2KV）	120/230

汇款方式：1. 银行转帐：北京银行东四支行
单位：北京市北科普源电子技术服务中心。
帐号：03090001201086857-69。汇款时请留电话
2. 交通银行：6222600910061899249 收款人：杨婧
3. 工商银行：6222080200008273206 收款人：杨婧
4. 农业银行：6228480010675161417 收款人：张俊义

地址：北京市东城区东花市大街花市枣苑9号楼310室 联系人：张俊义 电话：010-67131181 传真：010-67131801 手机：13601086585 石家庄分部：13833387962 王立强
乘车路线：乘39路 43路116路106路103路104路108路111路或乘地铁到崇文门站下车，换乘8路或525路到小市口下车即到;或沿崇文门东大街走500米红绿灯丁字路口右转即到 周六周日照常营业

套件KITS

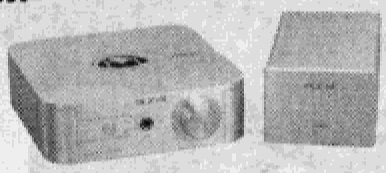
购买方式：1. 邮局汇款：北京市东城区夕照寺街14号A座《无线电》杂志社收邮编100061，
请在汇款单上注明相应套件名称及联系电话
2. 淘宝店购买：http://boqu.taobao.com

音频套件

PANDA MK2升级版耳放套件

980元/套+35元（邮费）

特点：PANDA MK2 耳放整机套件融合了中国音响DIY旗下品牌厂家aune的艺术气质和设计思想,再现平衡之美的极致。外形精巧细致，圆润丝滑，彰显时尚、典雅。整机设计采用完全分离的主机+电源结构。电源供给上，耳放输出级采用简单的非稳压电源供给，保障输出瞬时峰值功率时，能获得更大的电源功率供给，而电压放大级与输入级增设线性稳压电源设计，极大地减小了电源纹波干扰，提高电源抑制能力。



制作方法详见
《无线电》2012 年第 5 期杂志

T1 24bit TUBE USB DAC 电子管解码器（成品）

特点：采用优质线性电源，五芯外接电源接口，双组电源供电，大容量电容滤波，更有效降低电源干扰，采用高质量元件生产，ALPS电位器，WIMA电容，4位精密贴片电阻，ENLA音响专用电解电容，电子管座、USB口、RCA端子都采用镀金材质，全套ON稳压器件！可完美支持24bit输入，并轻松自如地对应Mac、ios、Win7/ Win8/ XP/ Vista等多种系统，即插即用，让电脑的声音不再冰冷。

【标准版】标配 6N11 电子管，
定价：680 元 +15 元（邮费）
【高阶版】标配 6922 电子管，
定价：780 元 +15 元（邮费）
颜色：月光银、典雅黑

S1 32bit/24bit电源分体式母带高保真播放器（成品）

2780元/台+25元（邮费）

特点：具备高素质的数字输出，16bit输出-93dB，24bit输出-132db（实测），采用特级数字输出变压器和COG输出电容！内部镶嵌4层PCB的32bit AKM4390 DAC，AKM4390俗称甲类DAC芯片，32bit芯片内部集成DSP，具备耳机输出功能，能直接驱动耳机，具备ESATA接口的固态硬盘是未来32bit播放器最重要存储介质，能直接播放32bit音乐文件。

购买此产品可获得2012年《高保真音响》杂志社出版的价值30元《电子管声频应用指南》一本！先到先得！快快行动吧！

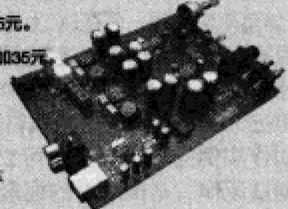
音频套件

MINI USB AMP套件

290元/套+15元（邮费）

特点：采用BB公司新型的Hi-Fi高品质D类放大芯片TPA3121，同时配合USB接收解码芯片，组成带有USB功能的纯后级D类放大器，本放大器具有极高的效率，在小体积中实现2×50W功率。

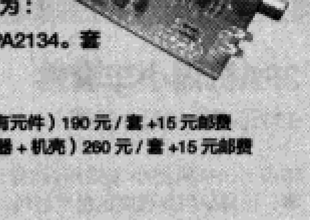
本套件不包含配套电源，其中功放的输入电压要求为12 25V直流，电流必须达到3.5A以上。如果使用笔记本电源，接口必须保持一致，中间为正。如果您希望增加配置，可选择：
①增加配套专用开关电源，需加60元。
②增加USB接收部分，需加65元。
③电位器升级为ALPS型，需加35元。



制作方法详见
《无线电》2010 年第 3 期杂志

MINI 1793 DAC套件

190元/套+15元（邮费）



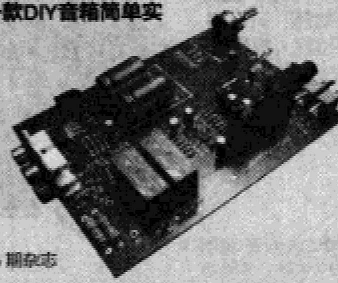
特点：套件使用TI公司出品的PCM1793，可以实现24bit解码功能。套件的电路框架为：DIR9001+PCM1793+OPA2134。套件采用小体积极限设计。

散件套件：（PCB+PCB 上所有元件）190 元 / 套 +15 元邮费
整机套件：（散件套件 + 变压器 + 机壳）260 元 / 套 +15 元邮费

测量套件

110元/套+15元（邮费）

特点：本套件主要用来配合计算机声卡测量扬声器和音箱的各项参数，是一款DIY音箱简单实用的测量工具。

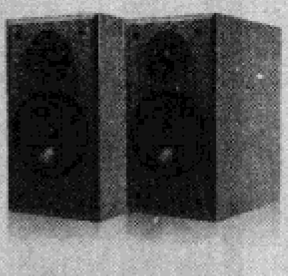


制作方法详见
《无线电》2010 年第 5 期杂志

畅美（Charme）书架箱

3680元/套+运费到付（70 140元）

特点：Charme书架箱将SEAS新型中低单元与SCAN-SPEAK经典高音单元相结合，配合专门度身打造的分频电路，组成性能卓越的书架音箱系统。



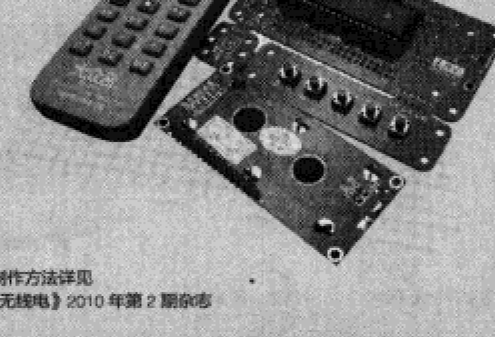
制作方法详见
《无线电》2012 年第 2 期杂志

用光驱制作CD转盘套件

99元/套+15元（邮费）

特点：光驱控制器是一款用单片机来控制光驱播放CD的控制板，网上称它为CDROM控制器，CDROM控制器是通过IDE接口来控制光驱的。它的优点是能方便地实现CD机的基本功能，如：显示时间、曲目等；用遥控器、按键控制光驱播放、暂停、选曲、进出盘等。

本套件不包含配套电源，其中功放的输入电压要求为12 25V直流，电流必须达到3.5A以上。如果使用笔记本电源，接口必须保持一致，中间为正。如果您希望增加配置，可选择：
①增加配套专用开关电源，需加60元。
②增加USB接收部分，需加65元。
③电位器升级为ALPS型，需加35元。



制作方法详见
《无线电》2010 年第 2 期杂志

Arduino套件

新年优惠大促销

Arduino入门套件（新版）

159元/套+15元（邮费）

特点：这套UNO版本的初学者套件是精心为初学者设计的一款学习工具。它可以帮助您用流行的Arduino工具体验丰富多彩的电子世界。在整个实验过程中无须焊接，直接在面包板上插拔元件即可。本套件还附带了10节适合初学者的实验课程，每一节实验都配有图文结合的实验说明文档和非常有趣的例子程序。

Arduino Sensor 9件套装

180元/套+15元（邮费）

特点：包括LM35线形温度传感器（模拟）、环境光线传感器（模拟）、倾角传感器（数字）、触摸传感器（数字）、磁感应传感器（数字）、震动传感器（数字）、大按钮模块（数字）、灰度传感器（模拟）、LED发光模块（数字）、3根模拟传感器连接线和6根数字传感器连接线，是学习Arduino初级应用的最佳搭配。搭配XBee传感器扩展板V5，使用起来更加方便。另有高精度传感器见淘宝店介绍。

基于Arduino的自动浇花套件

295元/套+15元（邮费）

制作方法详见《无线电》2012 年第 4 期杂志

基于Arduino的太阳能收集装置套件

1021元（运费到付，25 30元）

本页套件不仅适合爱好者自制，还非常适合各类学校电子实验室的师生作为制作项目用。
欢迎各校师生团购，咨询热线：010-67134361。

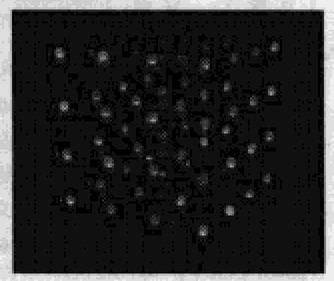
套件KITS

光立方套件

CUBE4彩色光立方套件

429元/套+15元（邮费）

特点:创新支架结构，灵感源于自然。声光感应，随音乐切换动画效果。六面全透明结构，18位全色彩渐变，千种动画与转场组合。带给您科技与艺术浑然一体的震撼。套件包括制作所需要的PCB及元器件，有机玻璃外壳，电源及电源线。易损元器件都会给出余量，制作本套件需要有一定的焊接能力。

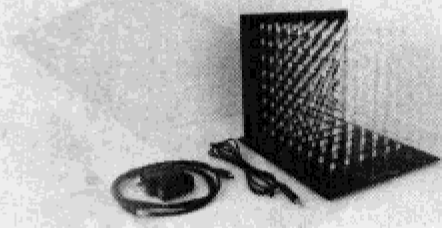


制作方法详见《无线电》2012年第9期杂志

CUBE8光立方套件

430元/套+15元（邮费）

- 8×8×8LED阵列3D光立方体显示器。
- 黑色镜面PCB、全镀金焊盘和LOGO，高端品质。
- 高亮蓝色雾面LED灯，达到光立方极佳视觉效果。
- 连贯图形显示效果，浑然一体，一气呵成。
- 混合式触摸电源和模式按键，操作更稳定。
- 电源具有常开、常关、光线自动控制方式。
- 显示模块有快速、中速、慢速3挡设置。
- 4挡亮度的夜灯模式，可营造你的室内气氛。
- 2种音频显示模式，可随音频同步显示。
- "精简I^2C"接口，全开放式用户自定义操控。
- 创新设计的LED阵列制作模板，让LED阵列制作简单快速。



制作方法详见《无线电》2011年第7期杂志

DB1开发套件

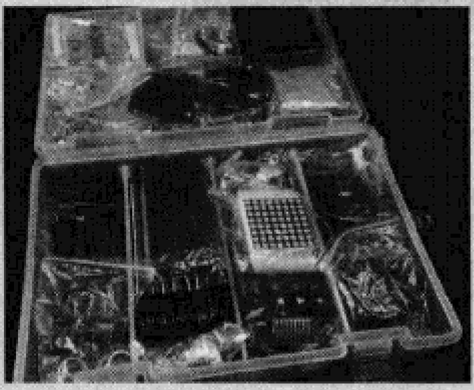
单片机电子积木DB1开发套件

特点：电子积木DB1可以简单、快速地组建电子DIY成品。DB1是完全免焊接的面包板插接模块，其内置高性能单片机，提供丰富的接口及应用例程，使用DB1可以真正完成能实用的制作，而不仅仅是面包板上的实验。

DB1基础开发套件：包括DB1主模块、USB下载模块、电源线连接线及基础元器件包。可在此基础上扩展您现有的功能组件。适合已经购买单片机周边功能组件的朋友。

78元/套+15元（邮费）

DB1教学开发套件：包括DB1基础开发套件和45种常用功能组件，提供大量制作实例和教学视频。可直接完成各种基础DB1的电子DIY作品。适合零基础的单片机爱好者。



498元/套+15元（邮费）

使用方法详见《无线电》2012年第10期开始的连载文章

单片机套件

《爱上单片机（第2版）》配书套件

135元/套+15元运费

特点：许多朋友通过阅读《爱上单片机》开始入门单片机。但苦于书中元器件难以齐全。现在我们将书中入门部分的元器件整理成套件。套件可完成《爱上单片机（第2版）》中68页（第一章第7节）之前的制作和实验。购买本套件可赠送特制资料光盘，随套件一并发货。其中收录最新的视频、文章和源程序。可帮助您更好地学习单片机。

机器人套件

SHR-8S人形机器人套件（成品）

3100元+40元（邮费）

（普通快递无法到达的偏远地区请电话咨询运费）

特点：机器人高360mm，重量约1.5kg(含电池)，总共具有17个自由度，其中头部1个自由度，双手6个自由度，双脚10个自由度。通过RS232C串口与电脑连接后，可在PC上用鼠标操作，参照3D仿真画面来设置动作。控制板具有2512KB的动作程序存储器，可存储25组动作，每组最多可记忆80个动作。附带具有数种动作实例的正版光盘，可立即测试运作。本机所附的锂聚合物电池可让机器人完全发挥其功能，电池可使用1.2~1.5小时，充电约50分钟。套件中附带遥控器，也可连接国际标准航模遥控器。

使用方法详见《无线电》2012年第8期杂志

电子时钟套件

"面包板入门电子制作"盒装套件

148元/套+15元（邮费）

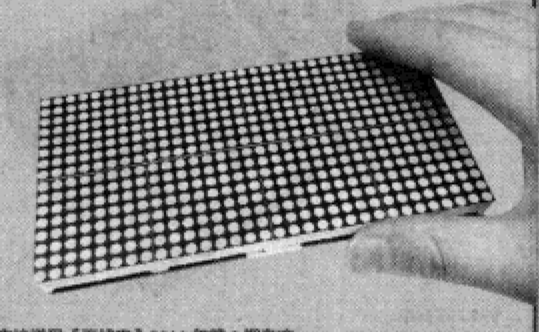
特点：以六宫格元件盒包装，内含：面包板、电池与电池盒、插接面包板专用线、LED灯、数码管、扬声器、电阻、磁铁、电容、蜂鸣器、电位器、话筒、干簧管、二极管、光敏电阻、微动开关等。可在面包板上完成数十个基础电路的搭建和设计，并配有不断更新的《无线电》杂志相关文章和高清教学视频，适合单片机爱好者的电路基础入门及中小学生的电子技术兴趣入门。

使用介绍从《无线电》杂志2012年第1期开始连载。
欢迎个人、学校及校外教育机构团购。

Mini3216电子时钟套件

198元/套+15元（邮费）

特点：超薄设计，整机厚度只有一片PCB加上LED屏的厚度；单片机直接驱动所有LED屏，电路制作简单，无需驱动芯片；公历及农历的重要节日提醒功能；4键全电容触摸式按键；32×16LED点阵屏显示，全中文界面；DYS8100高精准时钟芯片，一年内误差小于1分钟；早8点到晚8点整点报时功能；流动、渐变亮度式显示切换，精致UI设计；亮黑色镀金电路板，长久使用不褪色；超薄多功能连接排线，如无线般美观。



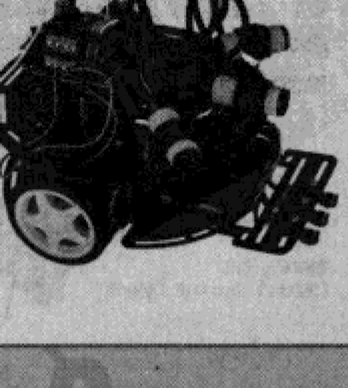
制作方法详见《无线电》2011年第2期杂志

机器小车套件

3PA机器小车套件

639元/套+15元（邮费）

特点：3PA机器小车采用2轮差速驱动，转弯半径趋近于零，机身采用高强度铝合金材料，高速电机加优质橡胶轮，运动灵活快速，适合在室内的平坦路面行进。小车使用Arduino控制器，编程简单。车身有很多安装孔，可以加装传感器、舵机、摄像头等，实现监控、寻线、避障等功能，可以用于机器人教学实践，也可用于机器车比赛。



制作方法详见《无线电》2010年第11期杂志

无线电

2012年合订本（上）

《无线电》编辑部　编

人民邮电出版社

北京

PDG

无线电

1955年创刊　www.radio.com.cn

2012年合订本 上

《无线电》编辑部 编

本书附赠光盘

精选电子套件演示视频
单片机源程序、印制电路板图等丰富资料

2012年第1期～第6期

特别策划　创意制作　实用电路　玩转单片机　音频应用　我的实验室　广播爱好者　初学者园地　维修帮手

TECSUN
德生牌收音机
中国驰名商标

享受广播 - TECSUN
Enjoy broadcasting

读天下文章　听世界新闻

德生收音机论坛：http://bbs.tecsun.com.cn　德生淘宝店：http://best-radio.taobao.com

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

欢迎订阅　全彩印刷　单期定价：15元　全年定价：180元

不一样的科普杂志
不一样的精彩内容

我们告诉电子爱好者：

学什么、**用**什么、
玩什么、**怎**么玩……

邮发代号：2-75
国外代号：M106

一本与现代电子技术共成长的科普杂志
一本倡导动手实践与互动分享的科普杂志
一本让几代中国电子人才受益的优秀杂志
一本关注电子爱好者和业内人士的兴趣杂志

订阅杂志，期期有礼

杂志订阅方式：

1. 各地邮局均可订阅（收订热线：11185）
2. 汇款到杂志社邮购
   汇款地址：北京市东城区崇文夕照寺街14号A座，收款人：《无线电》杂志，邮编：100061
   （请务必注明您的姓名、地址、邮编、电话及购买内容）
3. 网上购买：（1）邮政网上订阅：bk.chinapost.com.cn（客服电话：400-6611185）
   （2）淘宝代理店：boqu.taobao.com（主营杂志、图书及杂志社的周边产品）
   （3）卓越网：www.amazon.cn（登陆卓越网→搜索无线电杂志→购买）
4. 到社直接订阅。咨询电话：01067134361或67161471（工作时间：周一至周五，早8：00－17：00）
5. 电话订阅：拨打116114，按“0”键转人工服务进行订阅，上门服务（仅限北京）

满50减5优惠码
无线电
http://boqu.taobao.com

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

ISBN 978-7-115-30602-9

9 787115 306029 >

ISBN 978-7-115-30602-9

定价：52.00 元（附光盘）

图书在版编目（CIP）数据

《无线电》2012年合订本. 上 / 《无线电》编辑部
编. -- 北京 : 人民邮电出版社, 2013.2
ISBN 978-7-115-30602-9

Ⅰ. ①无… Ⅱ. ①无… Ⅲ. ①无线电技术—2012—丛
刊 Ⅳ. ①TN014-55

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第311886号

内 容 提 要

《无线电》2012年合订本（上）囊括了《无线电》杂志2012年第1～6期所有栏目的全部内容，并经过了再次加工整理，按期号、栏目、专题等重新分类编排，以方便读者阅读。

随书附赠的光盘中收录了精选的电子制作项目演示视频，还收录了与文章相关的单片机源程序、印制电路板等资料。

本书内容信息量大，涉及电子技术广泛，文章精炼，技巧经验丰富，实用性强，适合广大电子爱好者、电子技术人员及相关专业师生阅读。

《无线电》2012年合订本（上）

◆ 编　　《无线电》编辑部
责任编辑　房　桦　周　明

◆ 人民邮电出版社出版发行　北京市崇文区夕照寺街14号
邮编　100061　电子邮件　315@ptpress.com.cn
网址　http://www.ptpress.com.cn
北京新华印刷有限公司印刷

◆ 开本：787×1092　1/16
印张：35
字数：1 085千字　　2013年2月第1版
印数：1-10 000册　　2013年2月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-30602-9

定价：52.00元（附光盘）

读者服务热线：(010)67132837　印装质量热线：(010)67129223
反盗版热线：(010)67171154
广告经营许可证：京崇工商广字第0021号